

**MANAJEMEN TRANSPORTASI ALAT BERAT UNTUK
MENGHUBUNGKAN KEMBALI JALAN-JALAN YANG
TERTIMBUN LONGSOR DI WILAYAH PACITAN**

SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOHAMMAD SETYA ADI
NIM. 145060701111037

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

MANAJEMEN TRANSPORTASI ALAT BERAT UNTUK MENGHUBUNGKAN KEMBALI JALAN-JALAN YANG TERTIMBUN LONGSOR DI WILAYAH PACITAN

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOHAMMAD SETYA ADI

NIM. 145060701111037

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 20 Desember 2018

Dosen Pembimbing

Agustina Eunike, ST., MT., M.BA.
NIP. 19800811 201212 2002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri

Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741115 200604 1 002

Saya persembahkan skripsi ini sebagai rasa syukur dan terimakasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi ini, serta untuk keluarga saya:

Bapak Sunardi, ayah yang sedang dan akan selalu berjuang dalam menghadapi segala ujian dan cobaan dari-Nya

Ibu Djubaidah, ibu yang selalu setia menemani ayah dalam segala kondisi yang ada

Wina, adik yang berusaha untuk meraih impian dan cita-citanya

Tya bersyukur dilahirkan diantara keluarga ini.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kesehatan jasmani dan rohani serta petunjuk dan kekuatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Manajemen Transportasi Alat Berat untuk Menghubungkan Kembali Jalan-Jalan yang Tertimbun Longsor Di Wilayah Pacitan”** dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai bagian dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Setelah melewati berbagai tahapan, skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, semangat, motivasi, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, disini penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya.
2. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya, yang telah menerima usulan topik penelitian penulis, serta selaku Kepala Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri periode 2016-2017 atas segala teguran, masukan serta bimbingan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Ibu Agustina Eunike, ST., MT., M.BA. sebagai Dosen Pembimbing skripsi atas kesediaannya dalam meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan dan saran, serta arahan yang sangat berharga bagi penulis selama masa pengerjaan skripsi.
4. Bapak Wisnu Wijayanto Putro, ST., M.Eng., sebagai Dosen Pembimbing Akademik atas masukan, bimbingan, serta arahan selama masa studi penulis di Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya.
5. Ibu Ceria Farela Mada Tantrika, ST., MT. dan Ibu Wifqi Azlia, ST., MT., selaku dosen pengamat Seminar Proposal serta Ibu Ratih Ardia Sari, ST., MT. dan Bapak Ihwan Hamdala, ST., MT., selaku dosen pengamat Seminar Hasil atas saran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
6. Ibu Yeni Sumantri, S.Si., MT., Ph.D., selaku Kepala Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri periode 2018-sekarang, penulis berterimakasih atas nasihat serta ilmu yang telah beliau ajarkan.

7. Bapak dan Ibu Dosen, serta karyawan Jurusan Teknik Industri yang telah membagi ilmu akademik maupun non-akademik dan berbagai pengalaman hidup selama dalam dunia perkuliahan.
8. Bapak Ali Basit, ST., selaku pembimbing lapangan dan narasumber wawancara yang telah memberikan masukan, arahan, serta informasi terkait dengan kebutuhan data selama proses pengerjaan skripsi.
9. Keluarga Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri 2014, Indah, Meylanya, Amel dan terutama Tim Layar Biru, Nika, Tuzz, Yudan serta Nado yang selalu memberikan semangat, motivasi, bantuan, serta teguran kepada penulis.
10. Saudara-saudara Garuda dan Ikastara Malang, terutama Nadhifa yang tidak pernah lelah untuk selalu memotivasi dan menemani penulis selama menyusun penelitian, Cessar, Bang Yovi, Bang Audrey, Kak Donna, Suci, Firdaus, Fajar, Alto, Dimas, dan Ainayah yang telah menemani dikala penulis sedang penat atas segala kesibukan di masa perkuliahan.
11. Rekan seperjuangan penelitian di Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pacitan, Ahmad Huzaini yang telah bersedia menerima saran penelitian penulis sehingga dapat berjuang bersama di Pacitan.
12. Teman satu penelitian KKNP penulis, Muhammad Ismail yang telah membantu dan bekerja sama selama melakukan penelitian dan selama perkuliahan bersama penulis.
13. Seluruh rekan penulis, angkatan 2014 Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya, terutama Riyandhanu, Nadifa, Afif, Winona, Nugky, Bryan, Medi, Fazjriani, Kamil, Eko, Rama dan Rizka atas kegigihan dalam kebersamaannya selama ini, dan sahabat kecil penulis, Selma, yang telah menemani penulis dari masa sekolah dasar hingga saat ini, serta seluruh pihak untuk bantuannya yang tidak dapat disebut satu-persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu dari penulis dan kendala-kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di waktu yang akan datang. Harapannya tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut.

Malang, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	8
1.3 Rumusan Masalah	9
1.4 Batasan Masalah	9
1.5 Asumsi Penelitian	9
1.6 Tujuan Penelitian	10
1.7 Manfaat Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Penelitian Terdahulu	11
2.2 Bencana Alam	13
2.3 Manajemen Bencana/ <i>Disaster Management</i>	14
2.4 Alat Berat	16
2.4.1 Pengklasifikasian Alat Berat	16
2.4.1.1 Klasifikasi Fungsional Alat Berat	16
2.4.1.2 Klasifikasi Operasional ALat Berat	16
2.5 Manajemen Transportasi	17
2.6 Jalan	18
2.7 Riset Operasi	18
2.8 Model Jaringan	19
2.9 <i>Rural Postman Problem</i>	20
2.9.1 <i>Minimum Spanning Tree</i>	20
2.10 <i>Modified Christofides Et Al. Algorithms</i>	21
2.11 Algoritma Prim	21
2.12 <i>Shortest Path</i>	22

BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Jenis Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.3 Data yang Digunakan	24
3.4 Langkah-langkah Penelitian	24
3.5 Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Gambaran Umum Perangkat Daerah	31
4.1.1 Permasalahan Umum dan Isu Strategis Dinas PUPR Kabupaten Pacitan ..	31
4.1.2 Visi dan Misi Perangkat Daerah	32
4.1.3 Tugas dan Fungsi Perangkat Daerah	32
4.1.4 Struktur Organisasi	33
4.2 Pengumpulan Data.....	34
4.2.1 Data Lokasi Bencana.....	35
4.2.2 Data Dinas PUPR Kabupaten Pacitan	37
4.2.3 Data Jarak Antar Titik Bencana	37
4.2.4 Data dan Kapasitas Alat Berat	37
4.2.5 Data Waktu Tempuh	38
4.2.6 Data Waktu Penanganan untuk Setiap Titik Bencana.....	39
4.2.7 Data Biaya Pengerjaan Alat Berat	39
4.3 Pengolahan Data	40
4.3.1 Rute Penanganan <i>Existing</i>	41
4.3.2 Perhitungan Jarak dan Waktu Tempuh <i>Existing</i>	43
4.3.3 Perhitungan Waktu Penanganan <i>Existing</i>	45
4.3.4 Perhitungan Biaya Penanganan.....	48
4.3.5 Manajemen Transportasi dengan Menggunakan MST	50
4.3.5.1 Gambaran Permasalahan yang Akan Dihadapi	50
4.3.5.2 Pengembangan Algoritma yang Dilakukan.....	56
4.3.5.3 Penentuan Lokasi Bencana Berdasarkan Kebutuhan Alat Berat....	60
4.3.5.4 Penentuan Titik Vital.....	62
4.3.5.5 Perhitungan Matriks Jarak.....	62
4.3.5.6 Perhitungan <i>Minimum Spanning Tree</i>	63
4.3.5.7 Penentuan Rute Penanganan.....	65
4.3.5.7.1 Algoritma 1	65

4.3.5.7.2 Algoritma 2.....	86
4.3.5.8 Perhitungan Biaya.....	102
4.4 Analisis dan Pembahasan.....	107
4.4.1 Perbandingan Rute dan Model Penerjunan Alat Berat.....	107
4.4.2 Perbandingan Waktu Tempuh dan Waktu Penanganan	109
4.4.3 Perbandingan Biaya.....	111
4.5 Pengujian Algoritma	113
4.5.1 Random Data	113
4.5.2 Skenario 1	114
4.5.2.1 Algoritma 1 Skenario 1.....	115
4.5.2.2 Algoritma 2 Skenario 1.....	122
4.5.2.3 Perbandingan Skenario 1	127
4.5.3 Skenario 2.....	130
4.5.3.1 Algoritma 1 Skenario 2.....	130
4.5.3.2 Algoritma 2 Skenario 2.....	133
4.5.3.3 Perbandingan Skenario 2	135
4.5.4 Skenario 3	137
4.5.4.1 Algoritma 1 Skenario 3.....	138
4.5.4.2 Algoritma 2 Sknenario 3.....	149
4.5.4.3 Perbandingan Skenario 3	154
4.5.5 Analisis Antar Algoritma	158
BAB V PENUTUP	163
5.1 Kesimpulan	163
5.2 Saran	165
DAFTAR PUSTAKA	167
LAMPIRAN	169



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Alat Berat yang Diterjukkan Dinas PUPR Kabupaten Pacitan.....	3
Tabel 1.2	Foto Bencana Longsor Di Pacitan	5
Tabel 2.1	Perbandingan dengan Penelitian yang Dilakukan.....	12
Tabel 4.1	Lokasi Bencana Longsor.....	35
Tabel 4.2	Data Alat Berat dan Kapasitasnya	38
Tabel 4.3	Jatah Bahan Bakar Setiap Alat Berat	40
Tabel 4.4	Rute dan Urutan Penanganan <i>Existing</i>	41
Tabel 4.5	Jarak dan Waktu Tempuh <i>Existing</i>	44
Tabel 4.6	Total Waktu Penanganan <i>Existing</i>	46
Tabel 4.7	Biaya Penerjunan Alat Berat.....	49
Tabel 4.8	Lokasi Bencana dengan Kebutuhan Alat Berat <i>Loader</i> dan <i>Motor Grader</i>	61
Tabel 4.9	Lokasi Bencana dengan Kebutuhan Alat Berat <i>Excavator</i>	61
Tabel 4.10	Lokasi Vital Bencana Longsor.....	62
Tabel 4.11	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 1	75
Tabel 4.12	Penerjunan <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 1	75
Tabel 4.13	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 1	76
Tabel 4.14	Penerjunan <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 1.....	76
Tabel 4.15	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 1.....	77
Tabel 4.16	Penerjunan <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 1	78
Tabel 4.17	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 1.....	78
Tabel 4.18	Penerjunan <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 1	79
Tabel 4.19	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1.....	80
Tabel 4.20	Penerjunan <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1	80
Tabel 4.21	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1	82
Tabel 4.22	Penerjunan <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1	82
Tabel 4.23	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Iterasi 2.....	84
Tabel 4.24	Penerjunan <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Iterasi 2	84
Tabel 4.25	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Iterasi 2	85
Tabel 4.26	Penerjunan <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Iterasi 2	86
Tabel 4.27	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 2	94
Tabel 4.28	Penerjunan <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 2.....	94

Tabel 4.29	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 2.....	95
Tabel 4.30	Penerjunan <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 2	96
Tabel 4.31	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 2	97
Tabel 4.32	Penerjunan <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 2.....	97
Tabel 4.33	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 2	98
Tabel 4.34	Penerjunan <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 2.....	98
Tabel 4.35	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 2	99
Tabel 4.36	Penerjunan <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 2.....	100
Tabel 4.37	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 2	101
Tabel 4.38	Penerjunan <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 2.....	102
Tabel 4.39	Biaya Penanganan Berdasarkan Algoritma 1 Iterasi 1	103
Tabel 4.40	Biaya Penanganan Berdasarkan Algoritma 1 Iterasi 2	105
Tabel 4.41	Biaya Penanganan Berdasarkan Algoritma 2	106
Tabel 4.42	Perbandingan Rute Penanganan	108
Tabel 4.43	Perbandingan Waktu Tempuh dan Waktu Penanganan	110
Tabel 4.44	Perbandingan Biaya.....	112
Tabel 4.45	Random Data Skenario	114
Tabel 4.46	Hasil <i>Solver</i> Skenario 1	115
Tabel 4.47	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 1 Skenario 1.....	116
Tabel 4.48	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 1 Skenario 1	117
Tabel 4.49	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 1	117
Tabel 4.50	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 1 Skenario 1	118
Tabel 4.51	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Skenario 1	119
Tabel 4.52	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 1	120
Tabel 4.53	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Skenario 1 Iterasi 2	121
Tabel 4.54	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 1 Iterasi 2.....	122
Tabel 4.55	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 2 Skenario 1.....	123
Tabel 4.56	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 2 Skenario 1	123
Tabel 4.57	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 2 Skenario 1	124
Tabel 4.58	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 2 Skenario 1	125
Tabel 4.59	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 2 Skenario 1	126
Tabel 4.60	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 2 Skenario 1	126
Tabel 4.61	Rekap Algoritma 1 Skenario 1	127

Tabel 4.62	Rekap Algoritma 2 Skenario 1	129
Tabel 4.63	Hasil <i>Solver</i> Skenario 2.....	130
Tabel 4.64	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 2	130
Tabel 4.65	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Skenario 2	131
Tabel 4.66	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 2	132
Tabel 4.67	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Skenario 2 Iterasi 2	132
Tabel 4.68	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 2 Skenario 2	134
Tabel 4.69	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 2 Skenario 2	134
Tabel 4.70	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 2 Skenario 2	135
Tabel 4.71	Rekap Algoritma 1 Skenario 2.....	136
Tabel 4.72	Rekap Algoritma 2 Skenario 2.....	136
Tabel 4.73	Hasil <i>Solver</i> Skenario 3.....	137
Tabel 4.74	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 1 Skenario 3	138
Tabel 4.75	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 1 Skenario 3.....	139
Tabel 4.76	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 3	140
Tabel 4.77	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 1 Skenario 3	142
Tabel 4.78	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Skenario 3	142
Tabel 4.79	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 3	143
Tabel 4.80	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2	144
Tabel 4.81	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2...	145
Tabel 4.82	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2	146
Tabel 4.83	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2	147
Tabel 4.84	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2	148
Tabel 4.85	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2	148
Tabel 4.86	Rute <i>Motor Grader</i> Mitsubishi MG 3H Algoritma 2 Skenario 3	149
Tabel 4.87	Rute <i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B Algoritma 2 Skenario 3.....	150
Tabel 4.88	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5 Algoritma 2 Skenario 3	151
Tabel 4.89	Rute <i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1 Algoritma 2 Skenario 3	152
Tabel 4.90	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>Long Arm</i>) Algoritma 2 Skenario 3	153
Tabel 4.91	Rute <i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 Algoritma 2 Skenario 3	153

Tabel 4.92	Rekap Algoritma 1 Skenario 3	155
Tabel 4.93	Rekap Algoritma 2 Skenario 3	156



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Tren bencana Indonesia tahun 2003-2007	1
Gambar 1.2	Peta zona kerentanan gerakan tanah Pulau Jawa	2
Gambar 1.3	Diagram batang terkait banyak titik longsor berdasarkan interval luas area .	4
Gambar 1.4	Titik-titik bencana longsor bulan November-Desember 2017 dan lokasi PUPR Kabupaten Pacitan	6
Gambar 1.5	Gambaran Permasalahan yang Dihadapi	7
Gambar 2.1	<i>Flood risk management framework</i>	15
Gambar 2.2	<i>Graph G dan minimum spanning tree graph G</i>	20
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	30
Gambar 4.1	Struktur organisasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan.....	34
Gambar 4.2	Model rute dan urutan penanganan bencana <i>existing</i>	42
Gambar 4.3	Lokasi bencana disusun dalam MST	51
Gambar 4.4	MST yang berkembang.....	51
Gambar 4.5	Pembaruan lokasi bencana.....	52
Gambar 4.6	Penanganan berdasarkan lokasi terdekat	52
Gambar 4.7	Urgensi jalur vital	53
Gambar 4.8	Pemilihan alat berat.....	53
Gambar 4.9	Pengalihan penanganan.....	54
Gambar 4.10	Alat berat yang <i>idle</i>	55
Gambar 4.11	Memposisikan kembali ke <i>depot</i>	55
Gambar 4.12	Skema penerjunan alat berat	59
Gambar 4.13	<i>Minimum spanning tree</i> lokasi bencana untuk <i>excavator</i>	64
Gambar 4.14	MST hari pertama untuk <i>excavator</i>	66
Gambar 4.15	MST hari kedua untuk <i>excavator</i>	67
Gambar 4.16	MST hari pertama untuk non- <i>excavator</i>	70
Gambar 4.17	MST hari kedua untuk non- <i>excavator</i>	72
Gambar 4.18	<i>Tree</i> lokasi bencana non- <i>excavator</i> hari pertama dan hari kedua.....	95
Gambar 4.19	<i>Tree</i> lokasi bencana <i>excavator</i> hari pertama dan hari kedua	101



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Koordinat Geografi Lokasi Bencana	169
Lampiran 2	Tahap Pembuatan Matriks Jarak.....	170
Lampiran 3	<i>From To Chart</i> Jarak Aktual (km).....	175
Lampiran 4	<i>From To Chart</i> Waktu Tempuh (menit)	179
Lampiran 5	Lama Penanganan Tiap Lokasi Tiap Alat Berat (menit).....	183
Lampiran 6	Tahap Perhitungan <i>Minimum Spanning Tree</i>	184
Lampiran 7	MST Lokasi Bencana Hari 1 Pada Studi Kasus untuk <i>Excavator</i>	190
Lampiran 8	MST Lokasi Bencana Hari 2 Pada Studi Kasus untuk <i>Excavator</i>	191
Lampiran 9	MST Lokasi Bencana Hari 1 Pada Studi Kasus untuk <i>Non-Excavator</i> ..	192
Lampiran 10	MST Lokasi Bencana Hari 2 Pada Studi Kasus untuk <i>Non-Excavator</i> ..	193
Lampiran 11	MST Skenario 1 Hari 1 untuk <i>Excavator</i>	194
Lampiran 12	MST Skenario 1 Hari 2 untuk <i>Excavator</i>	195
Lampiran 13	MST Skenario 1 Hari 1 untuk <i>Non-Excavator</i>	196
Lampiran 14	MST Skenario 1 Hari 2 untuk <i>Non-Excavator</i>	197
Lampiran 15	MST Skenario 2 Hari 1 untuk <i>Excavator</i>	198
Lampiran 16	MST Skenario 2 Hari 2 untuk <i>Excavator</i>	199
Lampiran 17	MST Skenario 2 Hari 1 untuk <i>Non-Excavator</i>	200
Lampiran 18	MST Skenario 3 Hari 2 untuk <i>Excavator</i>	201
Lampiran 19	MST Skenario 3 Hari 3 untuk <i>Excavator</i>	202
Lampiran 20	MST Skenario 3 Hari 4 untuk <i>Excavator</i>	203
Lampiran 21	MST Skenario 3 Hari 5 untuk <i>Excavator</i>	204
Lampiran 22	MST Skenario 3 Hari 6 untuk <i>Excavator</i>	205
Lampiran 23	MST Skenario 3 Hari 1 untuk <i>Non-Excavator</i>	206
Lampiran 24	MST Skenario 3 Hari 2 untuk <i>Non-Excavator</i>	207
Lampiran 25	MST Skenario 3 Hari 4 untuk <i>Non-Excavator</i>	208
Lampiran 26	MST Skenario 3 Hari 5 untuk <i>Non-Excavator</i>	209
Lampiran 27	MST Skenario 3 Hari 6 untuk <i>Non-Excavator</i>	210
Lampiran 28	Penerjunan Pada Kondisi <i>Existing</i>	211
Lampiran 29	Penerjunan Berdasarkan Skenario 1 Algoritma 1	213
Lampiran 30	Penerjunan Berdasarkan Skenario 1 Algoritma 2	216
Lampiran 31	Penerjunan Berdasarkan Skenario 2 Algoritma 1.....	218
Lampiran 32	Penerjunan Berdasarkan Skenario 2 Algoritma 2	219

Lampiran 33	Penerjunan Berdasarkan Skenario 3 Algoritma 1	220
Lampiran 34	Penerjunan Berdasarkan Skenario 3 Algoritma 2	224



RINGKASAN

Mohammad Setya Adi, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2018, *Manajemen Transportasi Alat Berat untuk Menghubungkan Kembali Jalan-Jalan yang Tertimbun Longsor Di Wilayah Pacitan*, Dosen Pembimbing: Agustina Eunike.

Wilayah Pacitan memiliki zona kerentanan gerakan tanah yang tinggi, hal ini menyebabkan wilayah Pacitan memiliki potensi yang tinggi terhadap bencana longsor, terlebih ketika memasuki musim hujan. Pada akhir tahun 2017, tercatat 60 titik lokasi bencana longsor yang tersebar diseluruh wilayah Pacitan. Dimana dari 60 titik bencana ini, 34 titik bencana terjadi dalam kurun waktu dua hari, yakni tanggal 28 hingga 29 November 2017. Terjadinya bencana ini telah menutup bahkan merusak beberapa akses jalan, sehingga masyarakat kesulitan untuk menjangkau fasilitas umum. Bencana ini juga terjadi di jalan vital yang menyebabkan bantuan logistik sulit untuk menjangkau masyarakat. Besar kerusakan yang beragam dan tersebarnya titik-titik bencana, membuat penanganan dalam membuka titik-titik longsor menjadi lebih lama. Permasalahan ini menjadi lebih kompleks dikarenakan alat berat yang akan diterjunkan dalam penanganan hanya terbatas enam unit alat berat, yang memiliki kapasitas yang beragam dan kemampuan yang berbeda-beda. Sehingga dibutuhkan penerjunan alat berat untuk menangani bencana yang terjadi agar lebih efektif dan efisien, serta langkah-langkah dalam penerjunan alat berat tersebut dapat digunakan kembali ketika terjadi bencana di masa mendatang.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan algoritma yang perlu dikembangkan agar penanganan bencana berupa pembukaan jalan-jalan yang tertimbun longsor dapat berjalan lebih efektif dan efisien serta mengetahui bagaimana algoritma yang dikembangkan jika dihadapkan dengan permasalahan yang berbeda. Perhitungan diawali dengan mengetahui kondisi urutan penanganan, alat berat yang diterjunkan, lamanya waktu tempuh, lamanya penanganan, serta biaya yang dikeluarkan saat ini. Kemudian dilakukan pengembangan algoritma, dimana dalam penelitian ini dikembangkan dua algoritma. Algoritma pertama adalah *modified christofides et al. algorithms* dan algoritma kedua adalah algoritma yang dikembangkan oleh penulis dengan pendekatan yang sama seperti algoritma pertama, namun dengan melihat permasalahan yang dihadapi. Kedua algoritma ini nantinya akan menyelesaikan kondisi bencana yang terjadi saat ini, sebelum dilakukan pengujian terhadap tiga skenario yang nantinya dibuat.

Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh bahwa algoritma 1 dan algoritma 2 lebih unggul dari kondisi penerjunan alat berat saat ini. Keduanya lebih unggul dari segi rute yang ditempuh, lamanya waktu tempuh, lamanya penanganan yang dilakukan, serta biaya yang dikeluarkan. Dari segi total waktu penerjunan, algoritma 1 lebih cepat 1.148,983 menit, sedangkan algoritma 2 lebih cepat 668,02 menit. Sedangkan dari segi total biaya, algoritma 1 dan 2 lebih murah Rp. 9.148.000,00. Jika hanya membandingkan antara algoritma 1 dengan algoritma 2 dalam menangani kondisi bencana saat ini, algoritma 1 dapat lebih baik dari algoritma 2. Namun hal ini tidak membuat algoritma 1 menjadi algoritma yang lebih unggul. Hal ini dikarenakan algoritma 2 dapat mendekati kondisi optimal meskipun tidak memiliki tahapan iterasi seperti algoritma 1. Sedangkan algoritma 1 jika tidak dilakukan tahap iterasi, memberikan hasil yang lebih jauh dari kondisi optimal. Hal inipun terjadi ketika dilakukan pengujian dari kedua algoritma tersebut terhadap tiga skenario yang dibuat.

Kata Kunci: Manajemen Bencana, Manajemen Transportasi, *Minimum Spanning Tree Rural Postman Problem*



Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Mohammad Setya Adi, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, November 2018, *Transportation Management of Heavy Equipment to Reconnect Roads Buried by Landslides in the Pacitan Region*. Academic Advisor: Agustina Eunike.

The Pacitan region has a high vulnerability zone for land movement, which has caused it to have a high potential for landslides, especially in the rainy season. At the end of 2017, there were 60 landslide locations scattered throughout the Pacitan region. 34 disaster points occurred within two days, from 28 to 29 November 2017. The occurrence of this disaster has closed and even damaged several road accesses, thus caused difficulty to access public facilities. This also damaged the vital roads thus made it difficult for the logistic aids to reach the victims. Diverse damage amounts and landslide locations dotted about, make disaster handling become so long. The amount of damage and the diverse spread of disaster points makes handling in landslide points longer. This problem is more complex because the heavy equipment to be deployed in handling is only limited to six units of heavy equipment, which have varying capacities and different capabilities. Therefore, it takes a heavy equipment to handle the disaster in order to be more effective and efficient, and the steps in which the heavy equipment can be reused when a disaster occurs in the future.

This study aims to determine the algorithms that need to be developed so that disaster handling in the form of opening roads buried by landslides can run more effectively and efficiently, and find out how algorithms developed when faced different problems. The calculation starts by knowing the existing situation of how handling order, what heavy equipments are deployed, how length of travel time, how length of handling and how much costs incurred. Then towards the development of algorithms, which in this study two algorithms were developed. The first algorithm is modified Christofides et al. algorithm and the second is algorithm developed by author with the same approach as the first algorithm, but by looking at the problems at hand. Both of these algorithms will be trying to deal with the existing disaster situations, before tests are conducted against the three scenarios that will be made later.

Based on the results, obtained better results by using the first and the second algorithms when compared to existing handling conditions. Both are better of the route taken, the length of travel time, the length of handling, as well as the costs incurred. In terms of total handling and travel time, the first algorithm is 1.148,983 minutes faster, while the second algorithms is 668,02 minutes faster. Whereas in terms of total cost incurred, the first and the second algorithm are cheaper by Rp. 9.148.000,00. First and second algorithm comparison in handling current disaster situations shows that first algorithm is likely to perform better than the second one, but this does not make first algorithm the superior one. On the other hand, the second algorithm can approach optimal situations even though it does not have an iterative phase such as the first. Whereas first algorithm gives results that are further than optimal situations unless done in iteration phase. This also happens in testing of the two algorithms for the three scenarios made.

Keywords: Disaster Management, Minimum Spanning Tree, Rural Postman Problem, Transportation Management



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**MANAJEMEN TRANSPORTASI ALAT BERAT UNTUK
MENGHUBUNGKAN KEMBALI JALAN-JALAN YANG
TERTIMBUN LONGSOR DI WILAYAH PACITAN**

SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI

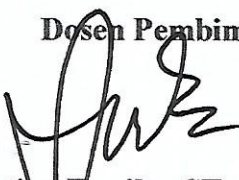
Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik




MOHAMMAD SETYA ADI
NIM. 145060701111037

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 20 Desember 2018

Dosen Pembimbing


Agustina Eunike, ST., MT., M.BA.
NIP. 19800811 201212 2002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri


Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741115 200604 1 002



BAB I PENDAHULUAN

Sebelum dilaksanakannya penelitian, perlu ditentukan terlebih dahulu dasar pelaksanaan penelitian yang akan dijalankan. Dasar pelaksanaan penelitian tersebut akan dijelaskan pada bab ini, beberapa hal yang akan dijelaskan mengenai latar belakang mengapa permasalahan ini diangkat, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, asumsi, tujuan penelitian dan manfaat penelitian.

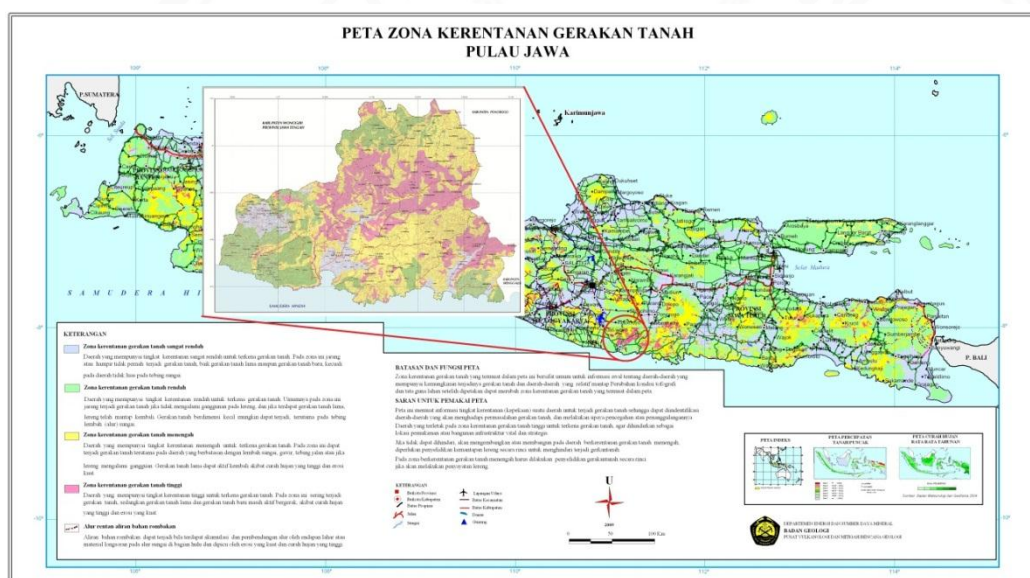
1.1 Latar Belakang

Bencana menjadi suatu hal yang sering kali menjadi bahan perbincangan pada akhir-akhir ini. Terlebih setelah bencana besar yang melanda Indonesia di tahun 2004 silam. Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, menyebutkan bahwa bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.



Gambar 1.1 Tren bencana Indonesia tahun 2003-2017
Sumber: Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2017)

Pada Gambar 1.1 menunjukkan tren bencana Indonesia sejak tahun 2003 hingga tahun 2017. Berdasarkan infografis tersebut pada tahun 2017 terjadi 2.372 kejadian bencana di Indonesia, hal ini mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Berdasarkan Gambar 1.1 tersebut juga diperoleh informasi bahwa tren bencana yang terjadi di Indonesia ini masih didominasi oleh bencana alam, seperti banjir, longsor dan puting beliung. Khusus pada bencana longsor, bencana ini memiliki faktor-faktor tersendiri kenapa dapat terjadi. Beberapa diantaranya adalah kondisi geologi berupa kemiringan lereng, iklim yang memiliki curah hujan yang tinggi, serta keadaan topografi berupa lereng yang curam. Kondisi-kondisi ini identik dengan bagaimana kondisi geografi di wilayah Jawa Timur. Berdasarkan peta zona kerentanan gerakan tanah Pulau Jawa yang dimiliki Badan Geologi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, terdapat beberapa wilayah yang masuk ke dalam zona kerentanan gerakan tanah menengah dan bahkan ada yang sampai masuk ke dalam zona kerentanan gerakan tanah tinggi.



Gambar 1.2 Peta zona kerentanan gerakan tanah Pulau Jawa
Sumber: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2017)

Berdasarkan Gambar 1.2 salah satu wilayah yang memiliki kerentanan gerakan tanah tinggi di Provinsi Jawa Timur adalah wilayah di Kabupaten Pacitan. Potensi ini muncul akibat wilayah Kabupaten Pacitan yang berbukit-bukit dan memiliki kisaran kemiringan lereng mulai dari lumayan terjal (30-50%) hingga hampir tegak (>70%) dengan vegetasi penutup umumnya sangat kurang. Terjadinya bencana longsor di wilayah Kabupaten Pacitan ini mengakibatkan jalur transportasi darat mengalami kerusakan atau tertutup oleh reruntuhan longsor dan juga tergenangi oleh banjir, bahkan jembatan tidak dapat dilalui maupun digunakan. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari situs nasional.tempo.co, bahwa setidaknya ada tujuh kecamatan yang terdampak musibah bencana banjir dan

longsor ini (Kurniawati, 2017). Sedangkan berdasarkan situs merdeka.com terdapat 13 desa yang terisolir oleh banjir dan longsor (Andriansyah, 2017).

Tabel 1.1

Alat Berat yang Diterjunkan Dinas PUPR Kabupaten Pacitan

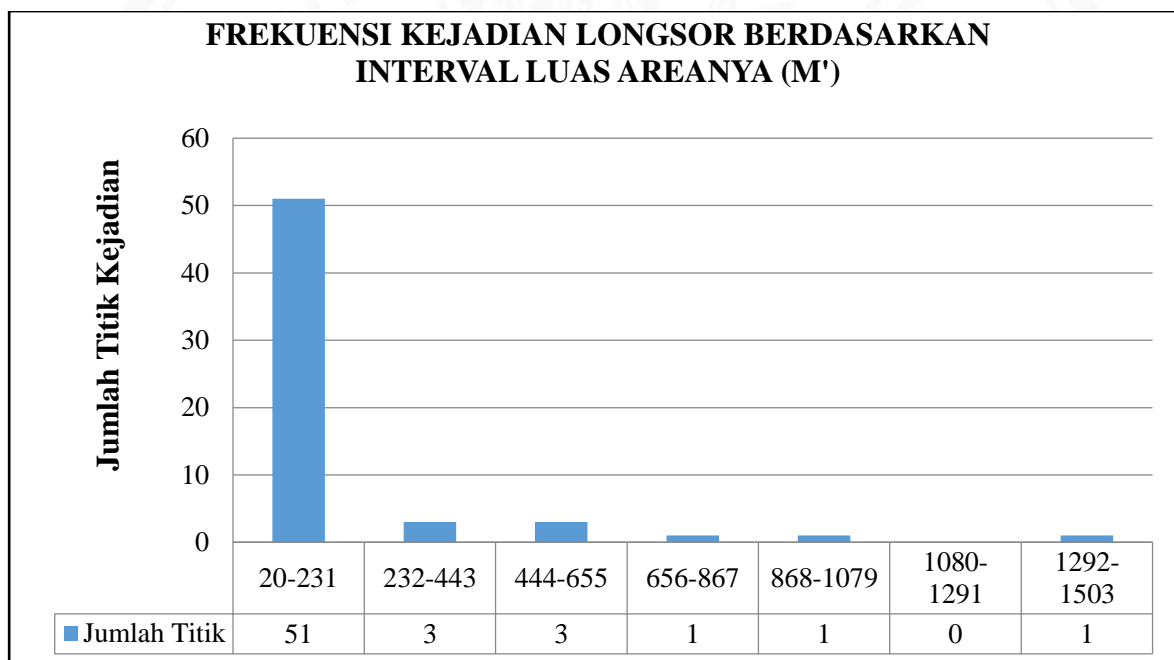
No.	Nama Alat Berat	Jumlah	Fungsi
1.	<i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 200-5	1	Alat pemindahan material
2.	<i>Wheel Loader</i> Komatsu WA 180-1	1	Alat pemindahan material
3.	<i>Motor Grader</i> Komatsu MG 3H	1	Alat pengolah lahan
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	1	Alat penggali
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	1	Alat penggali
6.	<i>Dump Truck</i>	1	Alat pengangkut material
7.	<i>Dump Truck</i> PUPR	1	Alat pengangkut material
8.	<i>Truck</i>	1	Alat pengangkut material
9.	<i>Backhoe Loader</i> Holland B 90B	1	Alat pemindahan material

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

Terputusnya jalur-jalur tersebut membuat tertutupnya akses untuk menuju lokasi-lokasi penting seperti rumah sakit maupun penyedia bantuan logistik. Terputusnya jalur-jalur ini menunjukkan bahwa jalan merupakan elemen yang *quite vulnerable*. Dimana kerusakan yang terjadi akan berdampak pada transportasi, baik orang maupun barang-barang komoditi. Berdasarkan kerusakan yang ada akan diperlukan waktu yang lama untuk membuka kembali jalur yang rusak dan para korban akan terisolasi selama waktu tertentu, jika hanya terdapat satu akses jalan. Penerjunan alat-alat berat untuk membantu membuka kembali jalur-jalur yang tertutup tersebut telah dilakukan oleh dinas-dinas terkait terutama Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kabupaten Pacitan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, terdapat beberapa alat berat yang diterjunkan selama proses penanganan bencana ini, hal ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.1. Selain penerjunan, diperlukan penentuan lokasi-lokasi mana yang perlu dilakukan pembukaan jalur, serta alokasi alat berat yang digunakan agar tercapai proses penerjunan yang efektif dari segi waktu dan efisien dari segi penggunaan alat berat. Lebih dari hal itu, maka diperlukan penentuan rute ketika alat berat tersebut diterjunkan. Sehingga ketika diterjunkan, alat berat tersebut dapat melakukan penanganan secara berkelanjutan sesuai dengan rute ketika alat berat tersebut diterjunkan, dengan harapan mampu mencapai proses penerjunan yang efektif dan efisien.

Dari Gambar 1.3 dapat diketahui, dari enam puluh titik bencana, ada lima puluh satu titik bencana yang masuk ke dalam rentang luas yang sama. Berdasarkan hal tersebut, 85% dari seluruh lokasi bencana longsor di Kabupaten Pacitan umumnya berkisar di rentang 20 hingga 231 meter lari. Satuan meter lari (M') ini merupakan satuan yang digunakan untuk mengukur luas longsor yang terjadi, dengan menganggap bahwa tinggi dari longsor

setinggi 4 meter. Satuan ini membuat besarnya longsor yang sangat beragam menjadi lebih seragam dengan tinggi longsor sebesar 4 meter tersebut. Kembali pada Gambar 1.3, meski dalam rentang yang sama, namun titik-titik di dalam rentang ini memungkinkan memiliki luas yang cukup heterogen, mengingat rentang yang adapun cukup besar. Berdasarkan hal tersebut setidaknya diperoleh informasi, bahwa nantinya waktu penanganan antar satu titik dengan titik yang lain akan memiliki perbedaan dan jika dibandingkan dengan titik-titik longsor di rentang luas yang lain, maka akan semakin heterogen pula waktu penanganannya. Dari informasi yang dijelaskan sebelumnya, dapat dilihat bahwa cukup banyak titik yang rusak akibat tertimbun longsor, namun armada alat berat yang dimiliki terbilang cukup terbatas. Jika melihat alat berat yang memiliki kemampuan untuk membuka jalur (pemindahan material, pengolah lahan, serta penggali), maka praktis Dinas PUPR Kabupaten Pacitan hanya memiliki 6 armada alat berat yang siap diterjunkan, yakni 2 unit *wheel loader*, 2 unit *excavator*, 1 unit *motor grader*, dan 1 unit *backhoe loader*.



Gambar 1.3 Diagram batang terkait banyak titik longsor berdasarkan interval luas area

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

Dari apa yang telah ditunjukkan pada Gambar 1.3 terkait banyaknya titik longsor dan interval luas area yang ada, Tabel 1.2 seolah-olah memberikan gambaran lebih jelas terkait bencana yang telah melanda wilayah Pacitan. Berdasarkan Tabel 1.2 dapat dilihat jika memang besar kerusakan yang ditimbulkan akibat bencana longsor ini benar-benar beragam. Kembali lagi hal ini akan memberikan waktu penanganan yang berbeda-beda dari setiap titik lokasi bencananya. Belum lagi jika melihat kemampuan ataupun fungsi dari

setiap alat berat yang tersedia pada Tabel 1.1 untuk menangani bencana longsor yang terjadi, dimana tentunya akan berdampak pula pada cara maupun lama waktu yang dibutuhkan untuk menangani bencana yang ada. Inilah yang menjadi salah satu hal yang akan dicoba untuk dioptimalkan dalam penelitian ini.

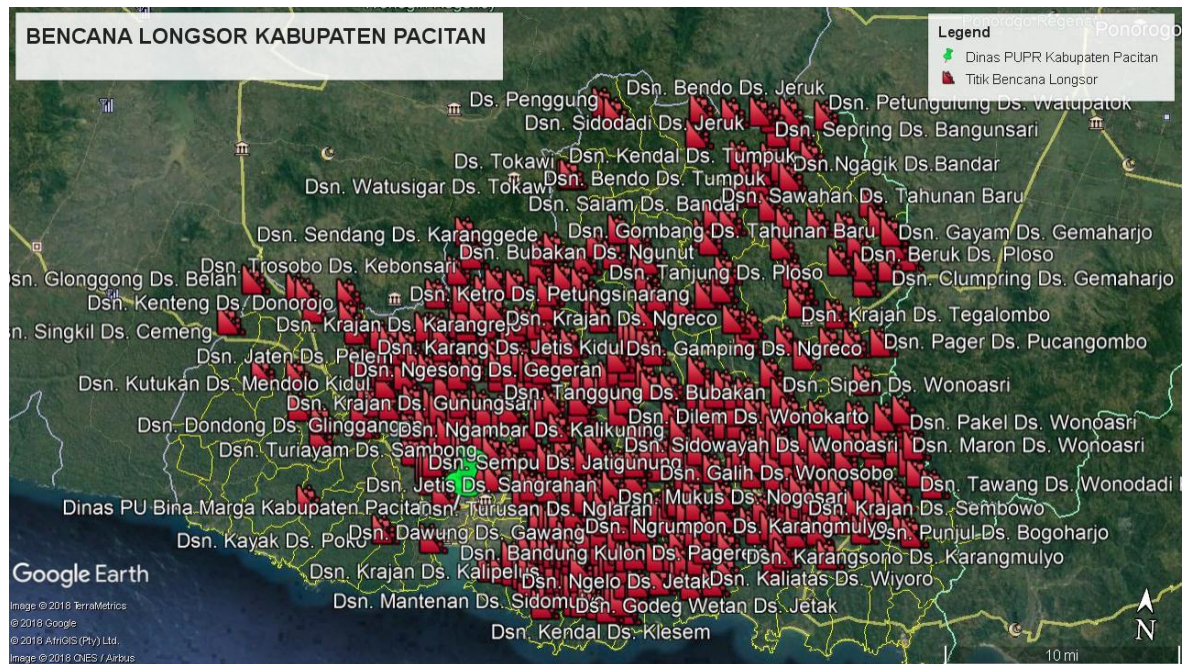
Tabel 1.2
Foto Bencana Longsor Di Pacitan

No.	Foto Bencana	No.	Foto Bencana
1.		3.	
2.		4.	

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

Berdasarkan Gambar 1.4 dapat diketahui bahwa titik bencana yang sangat menyebar sedangkan lokasi PUPR yang menjadi lokasi awal/*depot* alat berat berada hanya pada satu lokasi. Hal ini memberikan gambaran bahwa lokasi yang perlu ditangani sangat luas sedangkan lokasi awal penerjunan hanya berada di satu titik. Kembali menuju permasalahan sebelumnya, hal ini sangat kontras apabila dibandingkan antara lokasi bencana dan luas area yang terdampak dengan armada alat berat yang dimiliki. Dari sini muncul permasalahan terkait bagaimana menangani akibat bencana yang terjadi menggunakan sumber daya berupa alat berat yang terbatas, dan dari sini pula diperlukan penelitian untuk dapat mengefektifkan dan mengefisienkan pekerjaan tersebut. Terlebih lagi, Dinas PUPR Kabupaten Pacitan dalam menangani bencana di wilayahnya membutuhkan waktu yang lama dalam melakukan penanganan, tercatat kejadian bencana yang terjadi pada tanggal 28 hingga 29 November 2017, baru selesai tertangani hingga bulan Februari tahun 2018. Berdasarkan hal inipun kembali diperoleh permasalahan terkait penanganan yang dilakukan. Dimana bencana tidak hanya datang pada satu kurun waktu saja, namun ada beberapa bencana yang terjadi setelah alat berat diterjunkan. Hal ini

membuat jumlah bencana yang belum tertangani menjadi fluktuatif, bisa berkurang karena ada lokasi yang telah tertangani, namun bisa juga bertambah karena adanya bencana susulan.



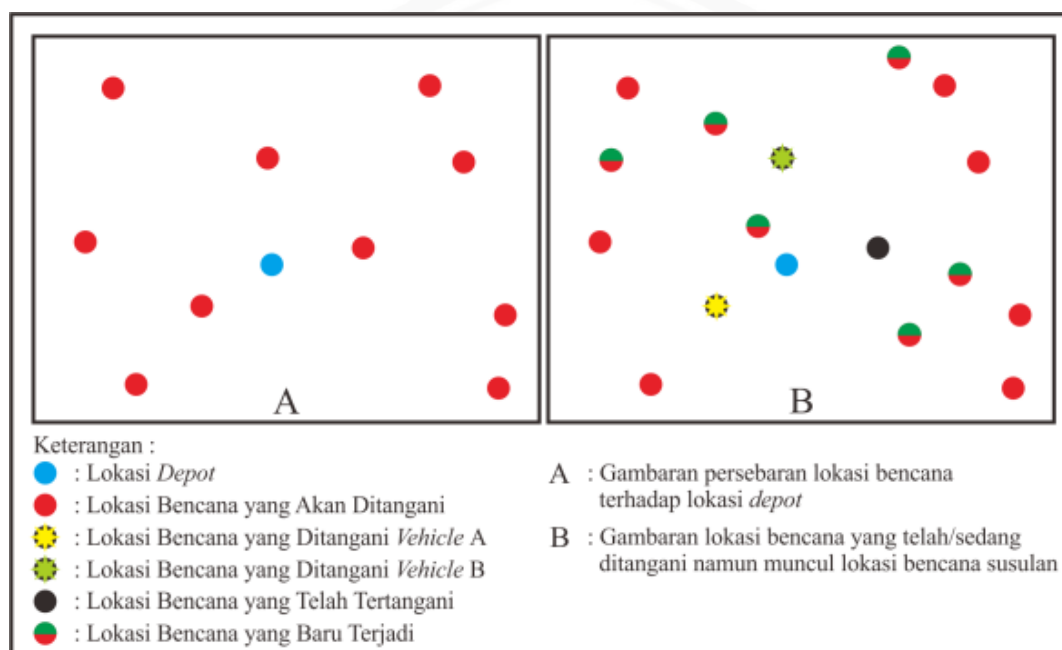
Gambar 1.4 Titik-titik bencana longsor bulan November-Desember 2017 dan lokasi PUPR Kabupaten Pacitan

Sumber: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Pacitan (2017)

Permasalahan yang muncul akhirnya menjadi kompleks. Gambar 1.5 meringkas permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, bagaimana persebaran terjadinya bencana terhadap lokasi *depot* hingga munculnya bencana susulan ketika penanganan sedang dilakukan. Gambaran permasalahan inilah yang nantinya akan dicoba untuk diselesaikan dengan pendekatan manajemen transportasi dan manajemen bencana. Berdasarkan Gambar 1.5 permasalahan yang telah disebutkan di atas dapat dilihat lebih jelas. Bencana yang muncul tersebar sedangkan lokasi *depot* hanya terpusat pada satu lokasi, selain itu penanganan yang dilakukan terhadap lokasi bencana tidak dapat langsung menyeluruh, melainkan bertahap antar lokasi. Ketika penanganan sedang dilakukan, terdapat lokasi bencana baru yang muncul. Hal inilah kenapa peneliti menyebutkan bahwa jumlah lokasi bencana yang belum tertangani menjadi fluktuatif. Terlepas dari hal tersebut, terapat permasalahan lainnya, yakni bencana yang sulit diprediksi dan jumlahnya yang fluktuatif akan mempersulit pemetaan jalur penanganan. Hal ini pulalah yang akan menjadi pondasi dalam penelitian ini, dimana pendekatan dengan *rural postman problem* akan diterapkan dengan penggunaan *minimum spanning tree*.

Seperti yang telah diutarakan sebelumnya terkait permasalahan yang timbul, dari segi bencana yang muncul akan dapat menghambat pergerakan kendaraan maupun barang,

sehingga bantuan-bantuan operasional akan terhambat di dalam pendistribusiannya, dan ketika ditinjau lebih dalam, penanganan tidak dapat semerta-merta dilakukan dengan cara bekerja sama antar dinas terkait, karena setiap dinas memiliki tanggung jawab dan kewenangan sendiri, baik dari segi pertanggung jawaban itu sendiri bahkan hingga dari segi anggaran. Hal ini menjadi identik dengan dengan ilmu terkait manajemen transportasi. dimana menurut Khisty dan Lall (2003), manajemen transportasi adalah sebuah proses perencanaan dan pengoperasian sistem transportasi ke arah peningkatan akses dan mobilitas arus kendaraan, barang, dan orang yang maksimal dengan menghemat sumber keuangan, dan energi sehingga menjaga mutu lingkungan dan kehidupan.



Gambar 1.5 Gambaran Permasalahan yang Dihadapi

Jika lebih dalam lagi, maka di dalam manajemen transportasi ini terkait dengan pengambilan tindakan dalam kebijakan, perencanaan, dan pendanaan yang ditetapkan oleh legislatif dan pemerintah pada sektor transportasi skala lokal, regional, dan nasional. Di samping hal-hal tersebut, dalam penerjunan alat berat yang ada, diperlukan suatu cara agar pendistribusian dapat berjalan efektif dan efisien, salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan menentukan rute-rute yang harus dilalui oleh alat berat tersebut. Meski demikian, jika melihat kembali Gambar 1.4 maka akan sangat banyak sekali titik longsor yang terjadi, dan dari sini dimungkinkan adanya jalan vital yang tertimbun longsor juga, yang mana jalan tersebut merupakan akses dalam pendistribusian bantuan penanganan bencana. Dari segi logikanya, maka jalan-jalan yang bersifat seperti inilah yang memiliki prioritas untuk ditangani terlebih dahulu, dan hal ini kembali menunjukkan bahwa manajemen transportasi

diperlukan dalam penanganan permasalahan bencana yang terjadi ini agar mobilitas orang maupun bantuan komoditi dapat berjalan lancar.

Berdasarkan segala permasalahan yang ada tersebut telah menjadi landasan yang melatar belakangi penelitian yang dilakukan. Luas longsor yang beragam dan tersebar luas hampir di seluruh wilayah Pacitan, jumlah alat berat yang terbatas, kejadian bencana yang dapat sewaktu-waktu bertambah, terhambatnya bantuan logistik, serta sulitnya masyarakat yang terdampak untuk menjangkau fasilitas umum telah menjadi permasalahan yang krusial dan dibutuhkan tahapan yang mampu mendukung dalam menangani permasalahan yang terjadi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan digunakan ilmu manajemen transportasi dan manajemen bencana dalam membantu memberikan usulan penanganan dalam permasalahan ini, serta digunakannya pendekatan *rural postman problem* untuk memetakan bagaimana rute penanganan yang nantinya akan dilakukan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan pada latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi permasalahan-permasalahan yang muncul. Berdasarkan hal tersebut, maka berikut ini merupakan permasalahan yang dapat teridentifikasi dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya.

1. Bencana longsor dan banjir telah menutup bahkan merusak beberapa akses jalan dan infrastruktur yang ada, sehingga masyarakat yang terdampak oleh bencana tersebut cukup kesulitan untuk menjangkau beberapa fasilitas umum.
2. Bencana longsor dan banjir juga terjadi pada jalan vital, sehingga menyebabkan bantuan logistik sulit untuk menjangkau masyarakat karena akses yang masih tertutup banjir maupun tertimbun longsor.
3. Alokasi alat berat saat ini dirasakan belum optimal, karena dalam proses penanganannya dibutuhkan waktu yang lama, hal ini dapat berdampak pada masyarakat, karena aktivitas mereka akan terhambat dan tidak dapat berjalan normal seperti sebelumnya.
4. Diperlukan penerjunan alat berat untuk menangani bencana yang terjadi, akan tetapi diperlukan pertimbangan pula terkait efektifitas dari segi waktu serta efisiensi dari segi jumlah alat berat yang diterjunkan, serta kemampuan dalam membuka jalur-jalur vital yang terdampak bencana, selain itu langkah-langkah dalam penerjunan alat berat tersebut juga dapat digunakan jika terjadi bencana lainnya.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana algoritma yang perlu dikembangkan agar penanganan bencana berupa pembukaan jalan-jalan yang tertimbun longsor dapat berjalan lebih efektif?
2. Bagaimana rute yang harus dilalui oleh alat berat dalam membuka jalan-jalan yang masih tertimbun bencana longsor agar lalu lintas bantuan penanganan bencana berjalan efektif?
3. Bagaimana penentuan alat berat yang perlu diterjunkan agar tercapai tingkat efisiensi yang baik?
4. Bagaimana algoritma yang dikembangkan jika dihadapkan permasalahan yang berbeda dengan studi kasus yang diangkat?

1.4 Batasan Masalah

Diperlukan batasan-batasan tertentu agar hasil penelitian yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditentukan. Oleh karena itu berikut ini merupakan batasan-batasan yang digunakan di dalam penelitian ini:

1. Data terkait jalur yang tertimbun longsor yang digunakan adalah kejadian per tanggal 28-29 November 2017 yang merupakan bencana dengan 34 titik kejadian bencana.
2. Alat berat yang diterjunkan adalah alat berat berjenis *motor grader*, *excavator*, dan *loader*.
3. Jalan-jalan yang digunakan maupun yang akan dibuka kembali merupakan jalan-jalan yang berada di wilayah Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Keadaan setiap alat berat dalam kondisi normal, sehingga tidak akan terjadi permasalahan permesinan ketika dilakukan proses penerjunan
2. Jalan yang dilewati (jalan di luar yang terdampak) dalam keadaan yang baik, dan tidak mengalami bencana susulan selama proses penerjunan
3. Jalan yang telah berhasil dibuka, selanjutnya tidak akan mengalami bencana susulan selama proses penerjunan
4. Jarak lokasi 1 menuju ke lokasi 2 sama dengan jarak antara lokasi 2 menuju ke lokasi

5. Kecepatan rata-rata kendaraan adalah 35 km/jam
6. Kapasitas dan waktu siklus kerja dari setiap alat berat adalah konstan

1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka tujuan dari penelitian yang dilakukan ini sebagai berikut.

1. Menentukan algoritma yang perlu dikembangkan agar penanganan bencana berupa pembukaan jalan-jalan yang tertimbun longsor dapat berjalan lebih efektif
2. Menentukan rute mana saja yang harus dilalui oleh alat berat dalam membuka jalan-jalan yang masih tertimbun bencana longsor agar lalu lintas bantuan penanganan bencana berjalan efektif
3. Mencapai tingkat efisiensi yang baik dalam penentuan alat berat yang perlu diterjunkan
4. Menguji algoritma yang dikembangkan jika dihadapkan pada permasalahan-permasalahan yang berbeda

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini nantinya adalah sebagai berikut.

1. Menghubungkan kembali jalan yang sebelumnya tertimbun longsor, agar aksesibilitas antar jalan dapat kembali normal. Sehingga masyarakat dapat kembali beraktifitas dengan menggunakan jalan yang telah dibuka.
2. Bantuan logistik maupun bantuan dari para petugas medis dapat menjangkau seluruh wilayah yang terdampak, sehingga bantuan yang diberikan dapat terdistribusi dengan baik dan menyeluruh karena wilayah-wilayah yang awalnya tertutup longsor telah terkoneksi kembali.
3. Algoritma yang disusun dapat menjadi langkah perencanaan untuk menerjunkan alat berat, sehingga ketika terjadi bencana di masa yang akan datang, dinas terkait dapat menyusun langkah penanganan yang sistematis dan dapat digunakan berulang-ulang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini diuraikan berbagai teori atau referensi yang terkait dengan permasalahan. Referensi tersebut berkaitan dengan penelitian-penelitian terdahulu, bencana, manajemen bencana, alat berat, manajemen transportasi, penelitian operasional, teori jaringan, *rural postman problem*, *minimum spanning tree* dan algoritma-algoritma yang ada untuk menyelesaikan permasalahan *minimum spanning tree*.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan menggunakan beberapa sumber referensi yang berasal dari buku, penelitian, *internet*, serta jurnal ilmiah maupun referensi lain yang dapat dipertanggungjawabkan isinya. Pada bagian ini akan diuraikan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang dapat mendukung penelitian ini dilakukan. Berikut beberapa referensi penelitian terdahulu yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini.

1. Akbari dan Salman (2016) melakukan penelitian terkait dengan *network connectivity* paska terjadinya bencana longsor. Dibutuhkan sejumlah alat berat untuk membuka kembali akses yang telah tertutup akibat bencana longsor yang terjadi. Mereka mendefinisikan *arc routing problem* untuk mendukung operasi pembersihan jalan akibat longsor. Dilakukan optimasi terkait rute sejumlah K alat berat yang melewati rangkaian jalan yang tertutup untuk mengkoneksikan kembali jalur tersebut paska terjadinya bencana. Mereka menyebut permasalahan ini sebagai *Multi-Vehicle Synchronized Arc Routing for Connectivity Problem* (K-ARCP) dengan menggunakan formulasi *exact mixed integer programming*. Hal ini dilakukan untuk mengatasi masalah-masalah kecil seperti permasalahan yang terdiri dari 30 *nodes*, 10 komponen yang terkoneksi, serta 3 alat berat. Sedangkan untuk menyelesaikan permasalahan yang besar, mereka menerapkan *Relaxation Based Heuristic* dan mengimplementasikan prosedur yang *feasible* berdasarkan algoritma *neighbourhood*. Mereka menguji E-MIP dan RBH pada permasalahan jaringan jalan di Istanbul, dimana terdapat 349 *nodes*, 689 *edges*, 6 komponen yang terkoneksi serta 4 alat berat yang digunakan. Hasilnya RBH menunjukkan hasil yang sangat baik, dimana dapat memberikan hasil yang optimal diatas dari 85% dan ini merupakan hasil yang optimal atau dapat dikatakan mampu mendekati hasil yang optimal.

2. Wang, Hsieh dan Huang (2018) dalam penelitiannya untuk melakukan tindakan *pre-disaster* guna membantu penanganan selama terjadinya bencana mengutarakan bahwa penelitiannya ini bersumber dari ancaman yang muncul ketika datangnya bencana alam. Disebutkan pula bahwa penelitian tersebut bertujuan untuk mengembangkan sebuah algoritma berdasarkan algoritma Prim untuk membuat sistem identifikasi otomatis. Dalam menghadapi bencana alam yang mampu merusak fasilitas utama dan menghalangi pihak luar untuk mengirimkan bantuan kepada masyarakat yang terisolasi, dibutuhkan suatu sistem yang mampu membantu dalam mengidentifikasi bagaimana melakukan penanganan terhadap lokasi tersebut, guna mengurangi potensi kerugian yang diakibatkan oleh bencana. Sistem identifikasi ini menggunakan tahap penentuan berdasarkan model *decision tree*, dimana digunakan pula *microsoft visual studio C* dan *google map* dalam melakukan pengembangan serta pengaplikasian dari algoritma dibuat. Penggunaan algoritma Prim dalam penelitiannya adalah untuk membentuk suatu jaringan jalan yang dapat menghubungkan desa-desa yang ada. Hasil yang diperoleh dari algoritma Prim ini akan membentuk *minimum spanning tree* untuk melakukan pengidentifikasian terhadap area yang terisolasi. Dalam tahapan selanjutnya algoritma Prim tersebut dipadukan dengan manajemen risiko untuk membentuk suatu model identifikasi terhadap wilayah yang sedang terisolasi. Sehingga ketika bencana terjadi dapat diketahui terkait bagaimana rute penanganannya, dengan memperhatikan beberapa pertimbangan yang diperoleh dari pendekatan manajemen risiko yang ada. Wilayah yang telah teridentifikasi selanjutnya ditampilkan dalam bentuk visual berupa peta yang dipadukan dengan informasi lainnya seperti kondisi masyarakat, bahkan ekonominya dengan menggunakan *microsoft visual studio C* dan *google map*.

Perbandingan dari penelitian-penelitian yang sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Perbandingan dengan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Objek	Metode	Hasil
1	Akbari & Salman (2016)	Jaringan jalan Istanbul Turki	K-ARCP serta <i>Exact Mixed Integer Programming</i> dengan <i>Relaxation Based Heuristic</i>	Mereka menguji E-MIP dan RBH pada permasalahan jaringan jalan di Istanbul, dimana terdapat 349 nodes, 689 edges, 6 komponen yang terkoneksi serta 4 alat berat yang digunakan. Hasilnya RBH menunjukkan hasil yang sangat baik, dimana dapat memberikan hasil yang optimal diatas dari 85% dan ini merupakan hasil yang optimal atau dapat dikatakan mampu mendekati hasil yang optimal.

No	Peneliti	Objek	Metode	Hasil
2	Wang, Hsieh & Huang (2018)	Jaringan jalan di Taitung	<i>Minimum Spanning Tree</i> menggunakan algoritma Prim serta Manajemen Risiko	Penggunaan algoritma Prim dalam membentuk <i>minimum spanning tree</i> dapat memberikan gambaran terkait jaringan jalan yang ada, selain itu dapat digunakan pula untuk melakukan pengidentifikasian wilayah yang terisolasi dan akses ke wilayah yang tidak terisolasi dengan menggunakan cara yang tepat. Selain itu wilayah-wilayah yang terisolasi juga dapat ditampilkan menggunakan peta karena telah dibantu dengan <i>Microsoft Visual Studio C</i> dan <i>Google Map</i> .
3	Penelitian saat ini	Bencana longsor di Kabupaten Pacitan	Manajemen transportasi dengan menggunakan <i>minimum spanning tree</i>	Diperoleh dua algoritma yang dapat digunakan untuk membantu tahap perencanaan penerjunan alat berat untuk melakukan penanganan pada bencana longsor di Kabupaten Pacitan. Algoritma pertama merupakan <i>modified Christofides et Al. algorithms</i> yang telah dilakukan penyesuaian, dan algoritma kedua adalah algoritma yang dikembangkan oleh peneliti. Dari kedua algoritma tersebut mampu memberikan hasil yang lebih baik dari kondisi penerjunan yang sudah ada, baik dari segi waktu, rute serta biaya.

2.2 Bencana Alam

Bencana adalah suatu kejadian, alam atau buatan manusia, tiba-tiba atau *progressive*, yang menimbulkan dampak yang dahsyat (hebat) sehingga komunitas (masyarakat) yang terkena atau terpengaruh harus merespon dengan tindakan-tindakan yang luar biasa (Carter, 2008). Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, pada Bab 1 Pasal 1 ayat 1 menyebutkan bahwa bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Berdasarkan undang-undang tersebut, bencana digolongkan menjadi tiga jenis, yakni bencana alam, bencana nonalam, serta bencana sosial.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa bencana adalah peristiwa yang tidak disengaja maupun disengaja baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun manusia yang menyebabkan terganggunya kehidupan masyarakat sehingga

menimbulkan berbagai akibat diantaranya adalah timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis.

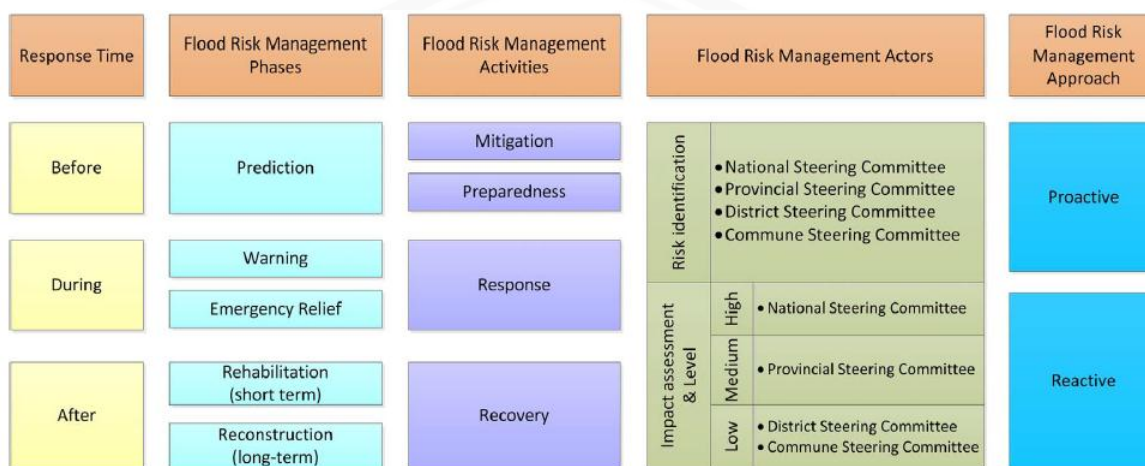
Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.

2.3 Manajemen Bencana/*Disaster Management*

Manajemen bencana merupakan kegiatan yang meliputi aspek perencanaan dan penanggulangan bencana, pada sebelum, saat dan sesudah terjadi bencana yang dikenal sebagai siklus manajemen bencana, yang bertujuan untuk mencegah kehilangan jiwa, mengurangi penderitaan manusia, memberi informasi masyarakat dan pihak berwenang mengenai risiko, serta mengurangi kerusakan infrastruktur utama, harta benda dan kehilangan sumber ekonomis (Purnomo, 2010). Lebih lanjut Kusumasari (2014) dalam bukunya yang berjudul *Manajemen Bencana dan Kapabilitas Pemerintah Lokal* menuliskan bahwa manajemen bencana didefinisikan sebagai istilah kolektif yang mencakup semua aspek perencanaan untuk merespon bencana, termasuk kegiatan sebelum bencana dan setelah bencana yang mungkin juga merujuk pada manajemen risiko dan konsekuensi bencana (Shaluf, 2008). Manajemen bencana meliputi rencana, struktur serta pengaturan yang dibuat dengan melibatkan usaha dari pemerintah, sukarelawan, dan pihak-pihak swasta dengan cara yang terkoordinasi dan komprehensif untuk merespon seluruh kebutuhan darurat. Oleh karena itu, manajemen bencana terdiri dari semua perencanaan, pengorganisasian, dan mobilisasi sumber daya yang dibutuhkan untuk menangani semua fase bencana sebagai peristiwa alam yang unik (Kelly, 1995)

Prinsip manajemen bencana adalah bagaimana mengatasi keterbatasan manusia dalam memprediksi dan menghadapi bencana/keadaan darurat, yang kemudian dituangkan dalam strategi dan kebijakan dalam mengantisipasi, mencegah dan menangani bencana/keadaan darurat (Susanto, 2006). Pengelolaan bencana dijabarkan sebagai suatu ilmu pengetahuan terapan yang bersifat aplikatif yang mencari, dengan observasi sistematis dan analisis bencana untuk meningkatkan tindakan-tindakan terkait dengan pencegahan, mitigasi, persiapan, respon darurat serta pemulihan (Carter, 2008). Menurut Carter (2008) *disaster management* perlu diselenggarakan melalui beberapa tahapan, diantaranya adalah persiapan (*preparation*), penanganan (*facing disaster*), perbaikan akibat kerusakan (*reconstruction*), pemfungsian kembali prasarana dan sarana sosial yang rusak

(*rehabilitation*), dan penjinakan gerak alam yang dapat menimbulkan bencana (*mitigation*). Tahap-tahap tersebut tidak mutlak, karena bisa yang satu mendahului yang lain. Dengan kata lain manajemen bencana adalah suatu ilmu pengetahuan terapan yang berupaya meningkatkan tindakan-tindakan yang berkaitan dengan pencegahan, mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat dan pemulihan dengan menggunakan pengamatan dan analisis yang sistematis terhadap bencana. Dari penjelasan tersebut, manajemen bencana membutuhkan serta melibatkan berbagai macam organisasi untuk bekerja secara bersama-sama untuk dapat melakukan pencegahan, mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat dan yang akan dibahas dalam penelitian ini yakni pemulihan akibat bencana yang terjadi.



Gambar 2.1 Flood risk management framework

Sumber: Luu, Meding & Kanjanabootra (2018)

Dari *framework* menurut Cinh Luu yang diadaptasi dari Moe dan Pathranarakul dalam *An Integrated Approach To Natural Disaster Management : Public Project Management And Its Critical Success Factors* tahun 2006 pada Gambar 2.1, dapat dilihat jika manajemen bencana yang dapat dilakukan paska terjadinya bencana adalah dengan melakukan dua fase, yakni *rehabilitation* yang bersifat jangka pendek, dan yang ke dua adalah fase *reconstruction* yang bersifat jangka panjang. Keduanya masuk ke dalam aktifitas *recovery* dimana tujuan dari aktifitas ini adalah untuk memulihkan kembali kondisi dari wilayah yang sebelumnya terdampak bencana longsor. *Recovery* adalah kegiatan mengembalikan sistem infrastruktur kepada standar operasi minimal dan panduan upaya jangka panjang yang dirancang untuk mengembalikan kehidupan ke keadaan dan kondisi normal atau keadaan yang lebih baik setelah bencana (Kusumasari, 2014). Aktor yang berperanpun tergantung dari cakupan bencana yang terjadi, jika dilihat dari *framework* tersebut maka terdapat tiga aktor di dalamnya, ada yang pemerintah nasional ketika tingkat bencananya tinggi, ada yang pemerintah provinsi ketika tingkat bencananya sedang, dan untuk tingkat bencana yang rendah maka ada dua aktor didalamnya yakni

pemerintah daerah serta organisasi masyarakat, dimana semuanya melakukan pendekatan manajemen yang bersifat *reactive*.

2.4 Alat Berat

Alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Tujuan penggunaan alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relative lebih singkat (Kholil, 2012). Mengutip pernyataan Rostiyanti (2008) di dalam bukunya yang berjudul Alat Berat untuk Proyek Konstruksi, pemilihan alat berat yang akan dipakai merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan suatu proyek. Alat berat yang dipilih haruslah tepat baik jenis, ukuran maupun jumlahnya (Rostiyanti, 2008).

2.4.1 Pengklasifikasian Alat Berat

Menurut Kholil (2012), alat berat dapat dikategorikan ke dalam beberapa klasifikasi. Klasifikasi tersebut adalah klasifikasi fungsional alat berat dan klasifikasi operasional alat berat.

2.4.1.1 Klasifikasi Fungsional Alat Berat

Klasifikasi fungsional alat berat adalah pembagian alat berdasarkan fungsi-fungsi utama alat. Berdasarkan fungsinya alat berat dapat dibagi sebagai berikut.

1. Alat pengolah lahan, seperti *dozer*, *scraper*, dan *motor grader*
2. Alat penggali, seperti *excavator*, *front shovel*, *backhoe*, *dragline*, dan *clamshell*
3. Alat pengangkut material, seperti *belt truck* dan *wagon*
4. Alat pemindah material, seperti *loader* dan *dozer*
5. Alat pemadat, seperti *tamping roller*, *pneumatic-tired roller*, *compactor*, dan lain-lain
6. Alat pemroses material, seperti *crusher*
7. Alat penempatan akhir material, seperti *concrete spreader*, *asphalt paver*, *motor grader*, dan alat pemadat

2.4.1.2 Klasifikasi Operasional Alat Berat

Alat-alat berat dalam pengoperasiannya dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain atau tidak dapat digerakkan (statis). Jadi klasifikasi alat berdasarkan penggeraknya dapat dibagi sebagai berikut.

1. Alat dengan penggerak, seperti *crawler* atau roda kelabang dan ban karet
2. Alat statis, seperti *lower crane*, *batching plant*, dan *crusher plant*

2.5 Manajemen Transportasi

Manajemen transportasi adalah sebuah proses perencanaan dan pengoperasian sistem transportasi kearah peningkatan akses dan mobilitas arus kendaraan, barang, dan orang yang maksimal dengan menghemat sumber keuangan, dan energi sehingga menjaga mutu lingkungan dan kehidupan (Khisty & Lall, 2003). Secara sederhana diartikan sebagai konsep untuk memaksimalkan mobilitas pergerakan (lalu lintas). Komponen manajemen sistem transportasi di dalamnya terkait dengan pengambilan tindakan dalam kebijakan, perneencanaan, dan pendanaan yang ditetapkan oleh legislatif dan pemerintah pada pada sektor transportasi skala loka, regional, dan nasional. Proses penerapan teknik manajemen lalu lintas jalan raya dapat dilalui dengan tahapan berikut.

1. Mengidentifikasi (diagnosis) permasalahan dan parameternya
2. Merumuskan jenis tindakan/aksi teknik manajemen apa yang akan diterapkan
3. Memprediksi konsekuensi apa yang akan terjadi pada masa depan, jika teknik tertentu diterapkan
4. Memilih berbagai alternatif teknik dengan membandingkan hasil prediksi konsekuensi
5. Menerapkan alternatif yang diputuskan
6. Mengevaluasi hasil

Manajemen transportasi adalah elemen dalam rencana transportasi, dimana di dalam rencana transportasi tersebut terdapat dua elemen, yakni elemen manajemen sistem transportasi dan elemen jangka panjang (Khisty & Lall, 2003). Dimana elemen manajemen sistem transportasi berhubungan dengan pembuatan sistem yang seefisien mungkin dan pembuatan tindakan awal untuk keperluan transportasi jangka pendek. Sedangkan elemen jangka panjang ini mengidentifikasikan fasilitas-fasilitas yang akan dibangun, perubahan-perubahan besar yang akan dibuat untuk fasilitas-fasilitas yang ada dan tindakan-tindakan kebijakan jangka panjang. Manajemen transportasi sendiri memiliki sasaran yakni memaksimalkan mobilitas dalam sistem yang ada melalui tindakan-tindakan tertentu.

1. Memastikan penggunaan ruang jalan yang ada secara efisien
2. Mengurangi penggunaan kendaraan di daerah macet
3. Meningkatkan pelayanan transit
4. Meningkatkan manajemen transit internal

Tindakan-tindakan manajemen transportasi harus konsisten dengan upaya-upaya untuk melestarikan energi, meningkatkan mutu udara, dan menaikkan kenyamanan sosial, ekonomi dan lingkungan (Khisty & Lall, 2003). Berdasarkan hal tersebut, hubungan antara longsor, kemacetan, konsumsi energi dan mutu udara dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. Bencana longsor yang menutup akses suatu jalan, khususnya jalan utama atau dalam penelitian ini disebut dengan jalan vital, memberikan dampak pada lalu lintas yakni kemacetan. Hal ini terjadi karena begitu ada hambatan dan arus lalu lintas naik, maka kecepatan transportasi akan turun dan membuat kemacetan, dan ketika kecepatan turun konsumsi bahan bakar per satuan jarak sangat tinggi, dan penumpukan transportasi yang terjadi akan berpengaruh pada mutu udara di lingkungan tersebut.

2.6 Jalan

Menurut Peraturan Pemerintah nomor 34 tahun 2004 pasal 1 ayat 3 tentang jalan menyatakan bahwa jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Selanjutnya pada ayat 4 pasal tersebut dinyatakan bahwa jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum. Pada pasal 6 ayat 1 disebutkan bahwa sistem jaringan jalan merupakan suatu kesatuan jaringan jalan yang terdiri dari sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder yang terjalin dalam hubungan hierarki. Kemudian pada bagian keempat terkait status jalan dijelaskan terkait pengelompokan jalan, pada pasal 25 dinyatakan bahwa jalan umum menurut statusnya dikelompokkan atas:

1. Jalan nasional
2. Jalan provinsi
3. Jalan kabupaten
4. Jalan kota
5. Jalan desa

2.7 Riset Operasi

Riset Operasi (*Operation Research/OR*) berusaha menetapkan arah tindakan terbaik (optimum) dari sebuah masalah keputusan di bawah pembatasan sumber daya yang terbatas (Taha, 2008). Istilah riset operasi sering kali diasosiasikan hampir secara eksklusif dengan penggunaan teknik-teknik matematis untuk membuat model dan menganalisis

masalah keputusan. Sebagai sebuah teknik pemecahan masalah, OR harus dipandang sebagai ilmu dan seni. Aspek ilmu terletak dalam penyediaan teknik-teknik matematis dan algoritma untuk memecahkan masalah keputusan yang tepat. Riset operasi adalah sebuah seni karena keberhasilan dalam semua tahap yang mendahului dan melanjutkan pemecahan dari sebuah model matematis sebagian besar bergantung pada kreativitas dan kemampuan pribadi dari mereka yang menganalisis pengambilan keputusan tersebut (Taha, 2008:2).

2.8 Model Jaringan

Menurut Taha (2008), sebuah jaringan terdiri dari sekelompok *node*, yang dihubungkan oleh busur atau cabang. Suatu jenis arus tertentu berkaitan dengan setiap busur. Contohnya dalam jaringan transportasi, kota mewakili *node* dan jalan raya mewakili busur, dengan lalu lintas mewakili arus busur. Dari hal yang telah diungkapkan oleh Taha ini, jika di gunakan dalam studi kasus terkait permasalahan longsor yang akan dibahas ini, maka dalam jaringannya, lokasi dari bencana longsor yang menutup jalur adalah *node* sedangkan jalan yang akan dan harus dilalui adalah busur, serta aliran alat berat yang diterjunkan adalah arus busurnya. Berdasarkan Taha (2008), notasi standar yang menggambarkan sebuah jaringan G adalah $G = (N, A)$, dimana N adalah himpunan *node* dan A adalah himpunan busur.

Jalur adalah urutan busur-busur tertentu yang menghubungkan dua *node* tanpa bergantung pada orientasi busur-busur tersebut secara individual (Taha, 2008:284). Menurut Taha (2008) jaringan yang berhubungan adalah sebuah jaringan di mana setiap dua *node* dihubungkan dengan sebuah jalur.

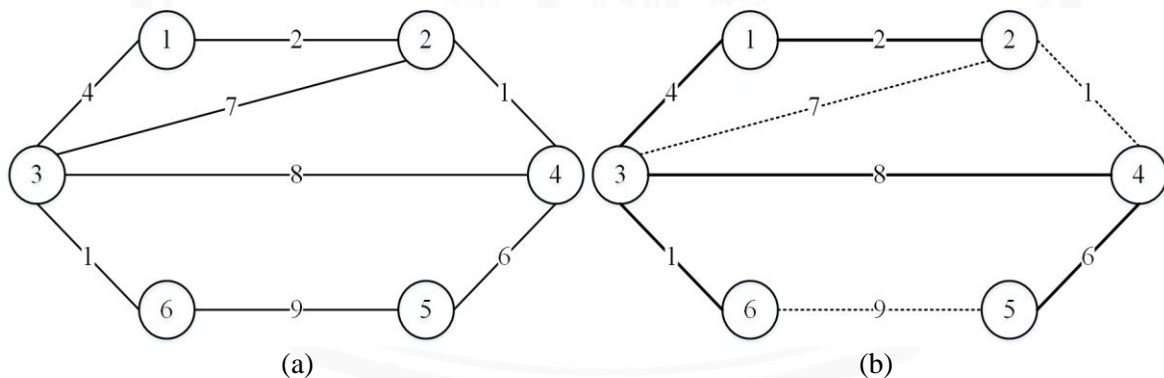
Lebih lanjut, Taha menyebutkan bahwa model jaringan yang didaftarkan dapat direpresentasikan dan, pada prinsipnya, dipecahkan sebagai program linier. Tetapi, jumlah variabel dan batasan yang sangat besar yang biasanya menyertai sebuah model jaringan pada umumnya membuat pemecahan masalah jaringan secara langsung dengan metode simpleks tidak disarankan. Struktur khusus dari masalah-masalah ini memungkinkan pengembangan algoritma yang lebih efisien, yang dalam kebanyakan kasus didasari oleh teori pemrograman linier. Dari pernyataannya ini dapat sedikit memberikan alasan kenapa penelitian yang dilakukan oleh Akbari dan Salman pada tahun 2015 menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritma *Relaxation Based Heuristic* memberikan hasil yang lebih optimal dari pada menggunakan K-ARCP.

2.9 Rural Postman Problem

Menurut Sorge (2012), *rural postman problem* (RPP) adalah *arc routing problem* yang terkenal dalam optimasi kombinatorial. Adanya *arc weighted graph* G dan subset R dari *arc*-nya, dimana tugasnya adalah untuk mencari jalur dengan biaya minimum pada G yang mengunjungi semua *arcs* R . Aplikasi dari *rural postman problem* ini meliputi membajak salju, pengumpulan sampah, dan pengiriman surat.

Menurut Holmberg (2009), penggunaan RPP yang ia minati adalah aplikasinya dalam membantu pembersihan salju. Dimana R sebagai rangkaian jalan yang perlu dibersihkan dari salju oleh kendaraan pembersih salju, sedangkan E berisi tautan jalan yang dapat digunakan untuk transportasi kendaraan tersebut. Biaya c akan menjadi biaya untuk membersihkan setiap tautan atau rangkaian jalan, dan dapat berupa waktu yang diperlukan ditambah faktor lainnya. Karena kecepatan kendaraan lebih tinggi selama proses transportasi daripada ketika membersihkan jalan dari salju, maka biayanya akan berbeda untuk transportasi dan untuk melakukan penanganan yang diperlukan. Namun, ketika setiap *edge* yang diperlukan penanganan telah muncul, maka biaya untuk membersihkan salju bersifat tetap dan pengoptimalan hanya menyangkut transportasi. Sehingga dalam perhitungan nilai fungsi obyektifnya, Holmberg menggunakan dua nilai yang berbeda.

2.9.1 Minimum Spanning Tree



Gambar 2.2 (a) Graph G dan (b) Minimum spanning tree graph G
Sumber: Surachman & Astuti (2015)

Menurut Surachman & Astuti (2015), *tree* adalah himpunan garis-garis yang menghubungkan titik-titik dan tidak membentuk *cycle*, sedangkan *spanning tree* dalam suatu *graph* G adalah *tree* yang memuat semua titik yang ada di dalam *graph* G . Sehingga permasalahan *minimum spanning tree* (MST) adalah bagaimana menentukan *spanning tree* terpendek T dalam suatu *graph* yang terhubung. Gambar 2.2 merupakan *graph* G serta *minimum spanning tree*.

2.10 Modified Christofides Et Al. Algorithms

Pearn dan Wu (1995) mengembangkan algoritma yang berasal dari penelitian Christofides et al. (1981) yang berjudul *An Algorithms for The Rural Postman Problem*. Dimana terdapat dua algoritma yang berhasil mereka kembangkan, diantara kedua algoritma tersebut, terdapat algoritma yang mereka beri nama *modified Christofides et Al. algorithms*. Pada algoritma tersebut terdapat tiga fase untuk melakukan tahapannya, dimana di fase 1 terdapat dua langkah, di fase 2 terkait dengan simplifikasi, dan pada fase terakhir terakir iterasi yang dilakukan untuk mencapai hasil yang lebih optimal. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan yang lebih rinci dari algoritma tersebut.

1. Fase 1 (*minimum spanning tree*)
 - a. Langkah 1
Menentukan jarak dari setiap pasang *nodes* i . Aplikasikan algoritma *mimumum spanning tree* pada G_c . Jaringan $E_{T0}(\lambda)$ yang terbentuk merupakan solusi dari *minimum spanning tree*
 - b. Langkah 2
Simplifikasi jaringan $E_{T0}(\lambda)$ dengan mengeliminasi setiap busur yang terduplikasi secara paralel. Hasil dari simplifikasi ini disebut $E_T(\lambda)$
2. Fase 2 (*minimal cost matching*)
Aplikasikan algoritma *minimal cost matching*. Solusi yang diperoleh disebut $E_M(\lambda)$
3. Fase 3 (*iteration with varied parameter value*)
Ulangi fase 1 dan 2 terhadap *penalty parameter* λ . Pilih solusi terbaik (dengan nilai terkecil) selama menggunakan pendekatan ini

2.11 Algoritma Prim

Algoritma Prim adalah algoritma yang mencari sebuah *minimum spanning tree* untuk sebuah *weighted undirected graph*. Algoritma Prim dikembangkan pada tahun 1930 oleh matematikawan Ceko bernama Vojtěch Jarník. Saat ini, teknologi dan konsep dari algoritma Prim telah luas digunakan pada berbagai bidang penelitian seperti analisis jaringan, *multiple objective decision making*, perencanaan optimisasi, dan lain-lain (Wang et. al, 2018).

Menurut Surachman (2015), algoritma ini digunakan untuk menentukan *spanning tree* terpendek T dalam suatu *graph* G dan panjangnya $L(T)$, jika diketahui *graph* terhubung $G = (V, E)$ dengan titik-titik $1, 2, \dots, n$ dan garis (i, j) dengan panjang $l_{ij} > 0$. Dimana *input*-nya adalah n titik, garis (i, j) dalam G , dan panjang garis $(i, j) = l_{ij}$, sedangkan untuk *output*-

nya adalah himpunan garis S yang merupakan *spanning tree* terpendek T dalam *graph* G serta panjang $L(T)$. Berikut merupakan tahapan dalam algoritma Prim.

1. Inisialisasi

- a. Set $i(k) = 1$; $U = \{1\}$; $S = \{ \} = \emptyset$
- b. Beri label titik k ($= 2, \dots, n$) dengan $\lambda_k = l_{1k}$, jika tidak ada garis $(1,k)$ maka $\lambda_k = \infty$

2. Menambahkan garis *tree* T

- a. Pilih $\lambda_j = \min_{k \in U} \{\lambda_k\}$
- b. Masukkan j dalam himpunan U dan garis $(i(j), j)$ dalam himpunan S . Jika $U = V$, maka hitung $L(T) = \sum l_{ij}$ (jumlah panjang semua garis dalam S). *Output* : S ; $L(T)$.
Stop. Jika tidak, lanjut ke langkah 3.

3. *Update* label

Untuk setiap $k \in U$; jika $l_{jk} < \lambda_k$ maka $\lambda_k = l_{jk}$, jika $l_{jk} \geq \lambda_k$ maka λ_k (tetap seperti l_{jk} sebelumnya) dan $i(k) = j$. Kembali ke langkah 2.

2.12 Shortest Path

Terdapat beberapa jenis pengukuran jarak beberapa diantaranya adalah *euclidean*, *squared euclidean*, *rectilinear*, *tchebychev*, *aisle distance*, *adjacency*, dan *shortest path*. Menurut Heragu (2016), pengukuran yang digunakan sebenarnya tergantung pada ketersediaan personel yang berkualifikasi, waktu untuk pengumpulan data dan jenis *material handling* yang digunakan. Sebagai contoh, untuk *overhead material handling carrier* yang bergerak di sepanjang rel tegak lurus, *rectilinear metric* mungkin tepat, sedangkan, jika material dipindahkan melalui *automated guided vehicles* (AGVs), *isle distance* mungkin lebih tepat. Dalam *network location problems*, *shortest path* digunakan untuk menentukan jarak antara dua *node*. Jaringan terdiri dari *node* dan juga *arcs*, dengan *node* yang mewakili departemen dan *arcs* di antara dua *node* mewakili jalan. Biasanya, bobot pada *arc* mewakili jarak atau waktu atau biaya untuk perjalanan antar *node* yang terhubung oleh *arc* tersebut. Biasanya terdapat lebih dari satu jalur di antara setiap pasang *node*, *shortest path* menjadi pertimbangan yang penting. Permasalahan lokasi dan distribusi dapat diwakili di dalam jaringan, dan metrik *shortest path* sering digunakan dalam permasalahan tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan terkait langkah-langkah yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini. Langkah-langkah tersebut diawali dari inisiasi observasi, studi literatur, identifikasi masalah hingga berujung pada pengolahan data serta penyelesaian masalah.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian dengan metode deskriptif. Metode ini dapat diartikan sebagai prosedur pemecahan masalah yang diselidiki dengan menggambarkan keadaan subjek atau objek dalam penelitian. Metode deskriptif merupakan suatu metode dalam meneliti status sekelompok manusia, suatu objek, suatu set kondisi, suatu sistem pemikiran ataupun suatu kelas peristiwa pada masa sekarang (Nazir, 2014). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat deskripsi, gambaran, atau lukisan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diselidiki.

Di dalam sumber yang lain dinyatakan bahwa metode deskriptif adalah suatu metode yang digunakan untuk menggambarkan atau menganalisis suatu hasil penelitian tetapi tidak digunakan untuk membuat kesimpulan yang lebih luas (Sugiyono, 2010). Dari pemaparan keduanya dapat dikatakan bahwa penelitian deskriptif merupakan penelitian yang digunakan untuk mendeskripsikan serta menganalisis suatu permasalahan maupun peristiwa yang terjadi pada saat sekarang sehingga bersifat aktual.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka penelitian ini masuk kedalam kategori penelitian deskriptif, karena dalam penelitian ini akan dibahas terkait bagaimana keadaan dari jalan-jalan yang tertimbun longsor di wilayah Kabupaten Pacitan serta bagaimana penanganan yang dilakukan untuk membuka kembali jalan-jalan tersebut, selain itu dalam penelitian ini nantinya akan diberikan gambaran serta analisis terkait pengembangan algoritma dalam penanganan jalan-jalan yang tertutup longsor, sehingga diperoleh suatu tahapan penanganan yang lebih baik.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini mengambil objek terkait bencana longsor yang terjadi di Kabupaten Pacitan pada bulan November 2017. Penelitian yang dilakukan ini mengambil data-data terkait permasalahan tersebut pada beberapa dinas maupun institusi terkait, seperti BPBD Kabupaten Pacitan, Dinas PUPR Kabupaten Pacitan. Sedangkan untuk waktu penelitian sendiri, dimulai pada bulan April 2018 hingga November 2018.

3.3 Data yang Digunakan

Penelitian yang dilaksanakan ini menggunakan dua jenis data yakni data sekunder dan juga data primer. Menurut Sarwono (2006) data sekunder merupakan data yang sudah tersedia sehingga kita tinggal mencari dan mengumpulkan, sedangkan data primer adalah data yang hanya dapat kita peroleh dari sumber asli atau pertama. Berdasarkan pernyataan tersebut maka berikut merupakan data-data yang digunakan.

1. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data-data yang terkait dengan titik bencana yang terjadi, luas area yang tertimpa bencana longsor, jumlah alat berat yang dimiliki, data terkait lokasi awal penerjunan alat berat, serta data-data historis terkait penanganan bencana yang telah dilakukan.

2. Data Primer

Data primer yang digunakan merupakan hasil wawancara langsung dengan pihak PUPR Kabupaten Pacitan, yang diperoleh dari hasil wawancara tersebut merupakan hal-hal yang terkait sistem penanganan, prosedur dan proses *recovery* jalan-jalan yang tertimbun bencana longsor, serta jalan-jalan vital mana saja yang tertimbun bencana longsor.

3.4 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dan berikut merupakan penjelasan mengenai langkah-langkah penelitian yang dibutuhkan.

1. Observasi Pendahuluan

Penelitian dimulai dengan melakukan observasi langsung untuk mengetahui permasalahan yang ada. Penelitian ini dilakukan di wilayah Pacitan Jawa Timur dan fokus penelitian yang dilakukan adalah pada proses penanganan bencana longsor yang menutup jalan-jalan di wilayah Pacitan.

2. Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap pengkajian teori-teori yang terkait dengan permasalahan. Manfaat dari studi literatur adalah untuk menentukan kesesuaian metode yang dipilih dengan konsep teoritis yang sudah ada. Studi literatur berisi kajian-kajian literatur yang berasal dari buku, jurnal, artikel ilmiah dan lain-lain yang kebenarannya dapat dipertanggungjawabkan. Studi literatur terkait dengan penelitian ini diantaranya mengenai manajemen bencana alam, manajemen transportasi, serta teori jaringan.

3. Identifikasi Masalah

Setelah dilakukan observasi selanjutnya adalah melakukan identifikasi permasalahan yang terdapat pada objek penelitian. Dari tahap ini, diketahui bahwa bencana longsor dan banjir telah menutup bahkan merusak beberapa akses jalan dan infrastruktur yang ada bahkan jalan vital yang menghubungkan Kabupaten Pacitan dengan wilayah lain di sekitarnya, sehingga masyarakat yang terdampak oleh bencana tersebut cukup kesulitan untuk menjangkau beberapa fasilitas umum seperti rumah sakit, bahkan akibat jalan vital yang juga tertimbun bencana menyebabkan bantuan logistik sulit untuk menjangkau masyarakat karena akses yang masih tertutup banjir maupun tertimbun longsor, kemudian alokasi alat berat saat ini dirasakan belum optimal, karena dalam proses penanganannya dibutuhkan waktu yang lama, hal ini dapat berdampak pada masyarakat, karena aktivitas mereka akan terhambat dan tidak dapat berjalan normal seperti sebelumnya, serta penerjunan alat-alat berat diperlukan untuk kembali membuka akses atau jalur yang masih tertutup, namun tidak hanya sekedar penerjunan akan tetapi diperlukan pertimbangan terkait efektifitas dari segi waktu serta efisiensi dari segi jumlah alat berat yang diterjunkan, serta kemampuan dalam membuka jalur-jalur vital yang terdampak bencana.

4. Perumusan Masalah

Rumusan masalah digunakan agar peneliti dan pengguna hasil penelitian mempunyai pandangan yang sama terhadap penelitian yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, maka rumusan untuk permasalahan ini adalah terkait jalan vital mana sajakah yang tertimbun longsor yang dibutuhkan untuk segera dibuka agar lalu lintas bantuan penanganan bencana dapat segera menjangkau wilayah yang terdampak, bagaimana rute yang harus dilalui oleh alat berat dalam membuka jalan-jalan vital yang masih tertimbun bencana longsor agar lalu lintas bantuan penanganan bencana berjalan efektif, bagaimana rute yang harus dilalui oleh alat berat dalam membuka jalan-jalan selain jalan vital yang masih tertimbun bencana longsor agar jalan-jalan yang

sebelumnya terputus dapat terkoneksi kembali, serta bagaimana penentuan alat berat yang perlu diterjunkan agar tercapai tingkat efisiensi yang baik.

5. Tujuan Penelitian

Pada tahap ini ditentukan tujuan yang akan dicapai melalui penelitian yang dilakukan. Berdasarkan hal tersebut maka tujuan dari penelitian ini yakni untuk menentukan jalan vital mana saja yang tertimbun longsor yang dibutuhkan untuk segera agar lalu lintas bantuan penanganan bencana dapat segera menjangkau wilayah yang terdampak, menentukan rute mana saja yang harus dilalui oleh alat berat dalam membuka jalan-jalan vital yang masih tertimbun bencana longsor agar lalu lintas bantuan penanganan bencana berjalan efektif, menentukan rute yang harus dilalui oleh alat berat dalam membuka jalan-jalan selain jalan vital yang masih tertimbun bencana longsor agar jalan-jalan yang sebelumnya terputus dapat terkoneksi kembali, serta mencapai tingkat efisiensi yang baik dalam penentuan alat berat yang perlu diterjunkan.

6. Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan peneliti untuk mendukung penelitian ini yaitu:

- a. Data titik bencana yang terjadi di jalan-jalan wilayah Pacitan yang dapat dilihat pada Lampiran 1
- b. Data luas area yang terdampak bencana longsor yang dapat dilihat pada Tabel 4.1
- c. Data jarak tiap titik bencana longsor yang ditunjukkan pada Lampiran 3
- d. Data waktu yang diperlukan untuk menangani setiap titik bencana yang diperlihatkan pada Lampiran 5
- e. Data terkait lokasi awal penerjunan alat berat, yakni lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan yang digunakan sebagai *depot*
- f. Data jumlah kendaraan alat berat yang dimiliki serta kapasitasnya yang nantinya akan ditampilkan pada Bab IV
- g. Data terkait kriteria apa saja yang membuat suatu jalan menjadi prioritas untuk dilakukan penanganan terlebih dahulu
- h. Data terkait jalan-jalan vital mana saja yang tertutup oleh longsor yang nantinya juga akan dibahas lebih rinci pada Bab IV
- i. Prosedur dalam penerjunan alat berat
- j. Data biaya penerjunan dimana data terkait hal ini akan dibahas pada Bab IV, tepatnya pada pembahasan data biaya penerjunan alat berat
- k. Wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dalam proses *recovery* jalan-jalan yang tertimbun longsor di wilayah Pacitan

7. Pengolahan Data

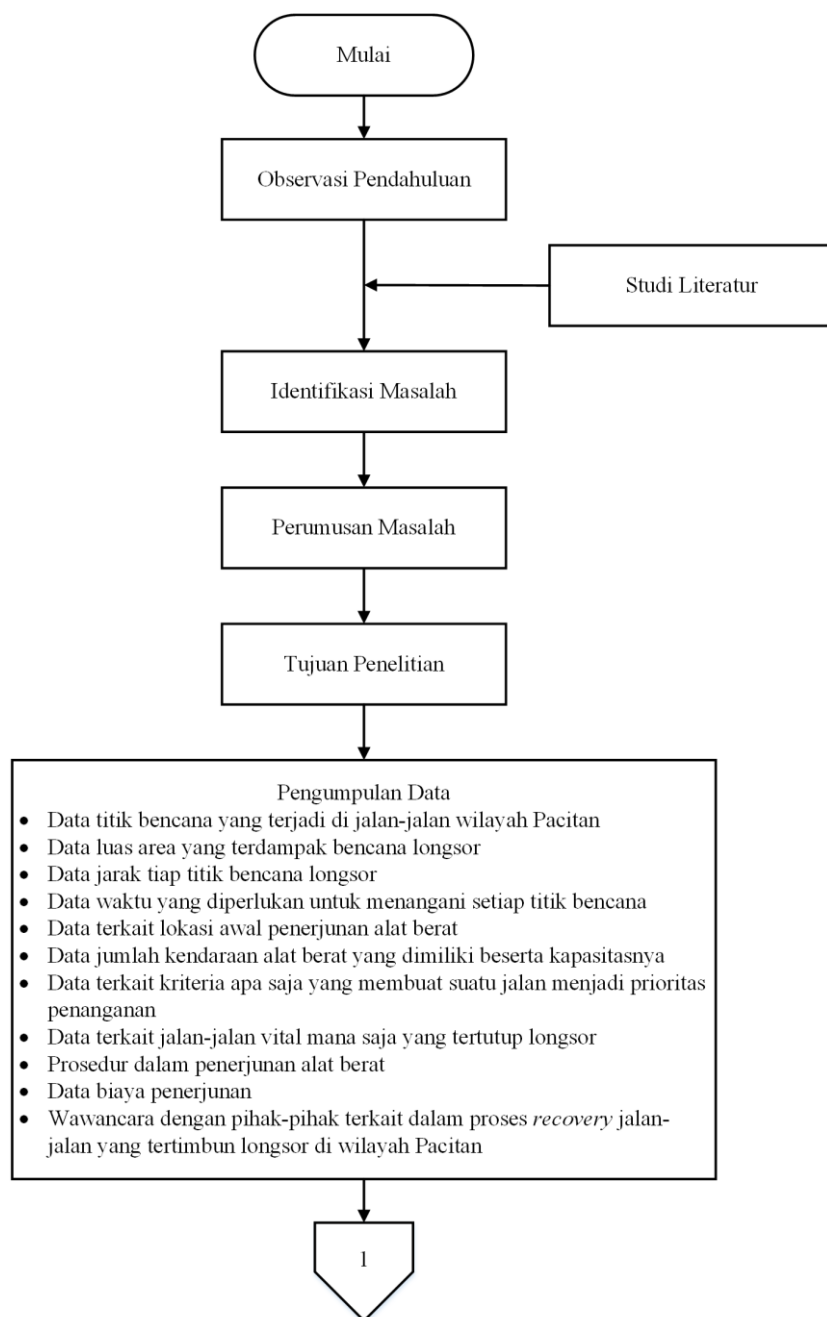
Setelah data telah dikumpulkan, maka dilakukan proses pengolahan data yaitu:

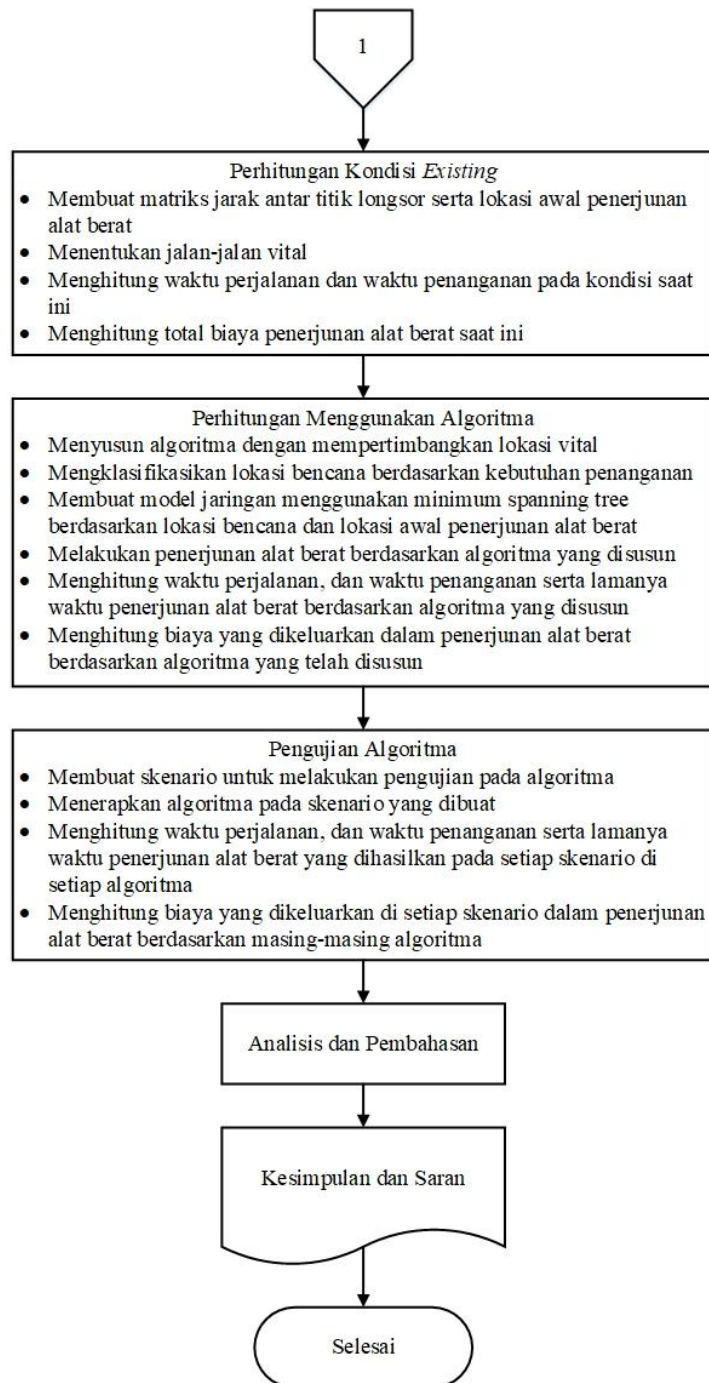
- a. Menghitung waktu perjalanan dan waktu penanganan pada kondisi saat ini, dimana perhitungan ini akan ditampilkan pada Sub Bab 4.3.2 hingga Sub Bab 4.3.3
- b. Menghitung total biaya penerjunan alat berat saat ini berdasarkan tahapan-tahapan dalam penanganan bencana yang ada. Perhitungan ini akan ditampilkan pada Sub Bab 4.3.4
- c. Menyusun algoritma dengan mempertimbangkan lokasi vital untuk dilakukan penanganan terlebih dahulu, dimana hasil dari penyusunan ini akan ditampilkan pada Sub Bab 4.3.5
- d. Mengklasifikasikan lokasi bencana berdasarkan kebutuhan penanganannya, tahap ini akan ditampilkan secara lebih jelas pada Sub Bab 4.3.5.1
- e. Menentukan jalan-jalan vital berdasarkan kriteria yang telah didapatkan, dimana penentuan ini dapat dilihat pada Sub Bab 4.3.5.2
- f. Membuat matriks jarak antar titik longsor serta lokasi awal penerjunan alat berat. Jarak yang digunakan diperoleh dari *goole maps* yang merupakan jarak terpendek dari jalan yang dapat dilalui oleh kendaraan. Jarak akan digunakan untuk menghitung biaya pengiriman alat berat. Penyusunan matriks jarak dapat dilihat pada Sub Bab 4.3.5.3 ataupun pada Lampiran 2
- g. Membuat model jaringan menggunakan *minimum spanning tree* berdasarkan lokasi bencana dan lokasi awal penerjunan alat berat, dimana langkah-langkah dalam pembuatan *minimum spanning tree* ini akan diberikan pada Sub Bab 4.3.5.4 dan akan secara lebih rinci dijelaskan pada Lampiran 6
- h. Melakukan penerjunan alat berat berdasarkan algoritma yang telah dibuat, penerjunan yang dilakukan ini akan dibahas di dalam Sub Bab 4.3.5.5
- i. Menghitung waktu perjalanan dan waktu penanganan serta lamanya waktu penerjunan alat berat yang dihasilkan ketika menggunakan algoritma, perhitungan ini termasuk kedalam tahapan penerjunan alat berat pada poin h, sehingga penjelasan serta perhitungan yang dilakukan juga akan termuat di dalam Sub Bab 4.3.5.5
- j. Menghitung biaya yang dikeluarkan dalam penerjunan alat berat berdasarkan algoritma yang telah disusun, seperti pada poin sebelumnya, perhitungan ini juga akan termuat di dalam Sub Bab 4.3.5.5

- k. Membuat skenario untuk melakukan pengujian pada algoritma yang telah disusun, dimana hal ini akan dibahas dalam pengujian algoritma yang terdapat di dalam Sub Bab 4.5
 - l. Menerapkan algoritma untuk menyelesaikan permasalahan pada skenario yang telah dibuat agar mengetahui bagaimana kemampuan masing-masing algoritma jika dihadapkan pada kondisi yang berbeda dari studi kasus yang diangkat, tahapan ini juga akan dibahas di dalam Sub Bab 4.5
 - m. Menghitung waktu perjalanan dan waktu penanganannya serta lamanya waktu penerjunan alat berat yang dihasilkan pada setiap skenario di setiap algoritma, perhitungan ini juga akan dibahas pada Sub Bab 4.5 sesuai dengan skenario dan algoritma yang telah dibuat
 - n. Menghitung biaya yang dikeluarkan di setiap skenario dalam penerjunan alat berat berdasarkan masing-masing algoritma yang telah disusun, perhitungan ini juga akan dimuat dan dijelaskan pada Sub Bab 4.5
8. Analisis dan Pembahasan
- Setelah melakukan pengolahan data, maka selanjutnya melakukan analisis yang mendalam berdasarkan hasil pengolahan data tersebut. Analisis yang dilakukan mengarah pada tujuan penelitian dan akan menjawab pertanyaan pada rumusan masalah. Analisa data pada penelitian ini adalah membandingkan rute penerjunan alat berat dan total biaya penerjunan, serta lamanya waktu yang diperlukan saat penanganan bencana berlangsung dengan kondisi *existing* dan algoritma yang disusun dengan pendekatan manajemen transportasi *heuristic* serta *minimum spanning tree*. Sehingga diperoleh rute yang optimal dengan biaya yang optimal dan penggunaan alat berat yang optimal serta waktu penanganan yang optimal pula. Selain itu, dari algoritma yang disusun juga akan dilakukan perbandingan dengan mencobanya pada skenario-skenario yang nantinya dibuat.
9. Kesimpulan dan Saran
- Tahap ini merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan, dimana telah diperoleh kesimpulan dan alternatif yang sesuai untuk objek penelitian. Memberikan saran untuk bahan pertimbangan objek penelitian dan pembaca atau penulis lain sebagai referensi.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digunakan untuk memudahkan pembaca dalam memahami penelitian yang dilakukan secara singkat. Diagram alir penelitian akan disajikan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan terkait perangkat daerah yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, kemudian terdapat penjelasan yang berkaitan dengan data-data yang dikumpulkan dimana nantinya akan dilakukan pengolahan data berdasarkan metode yang telah dipaparkan sebelumnya. Hasil dari pengolahan data tersebut selanjutnya akan digunakan untuk analisis serta pembahasan di dalam penelitian ini.

4.1 Gambaran Umum Perangkat Daerah

Sesuai dengan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah, maka kewenangan penyelenggaraan bidang pekerjaan umum sebagian telah menjadi kewenangan Pemerintahan Daerah. Hal tersebut menyatakan bahwa bidang Pekerjaan Umum adalah salah satu urusan pemerintahan yang bersifat *concurrent* atau dilaksanakan bersama oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah.

4.1.1 Permasalahan Umum dan Isu Strategis Dinas PUPR Kabupaten Pacitan

Permasalahan umum serta isu strategis (*strategic issued*) yang dihadapi oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pacitan dalam menjalankan program dan kegiatan tahun anggaran 2017 dalam mencapai sasaran strategis sebagai berikut.

1. Kondisi geografis Kabupaten Pacitan yang lebih banyak bukit yang rawan longsor
2. Belum optimalnya pelayanan administrasi perkantoran dan penyediaan sarana dan prasarana aparatur
3. Kualitas/kondisi jalan raya dan jembatan di wilayah Kab. Pacitan belum memadai, hal tersebut dikarenakan pertumbuhan kuantitas kendaraan bermotor semakin meningkat dan beban muatan/tonase seringkali melebihi batas maksimal, serta sering terjadi bencana alam
4. Belum meratanya akses jalan raya (aspal) dan jembatan di beberapa wilayah Kabupaten Pacitan, dimana pada saat ini kondisi jalan masih berupa jalan tanah/makadam yang menghubungkan wilayah antar desa
5. Perbandingan antara jalan dan drainase tidak seimbang, dikarenakan jalan di Kabupaten Pacitan banyak yang belum memiliki saluran drainase, sehingga banyak

jalan yang rusak karena digenangi air di waktu hujan dan masih banyak saluran air yang belum berfungsi dengan baik

6. Partisipasi masyarakat untuk menjaga dan merawat aset yang rendah
7. Perbandingan antara luas lahan persawahan dengan jaringan irigasi sekunder tidak seimbang
8. Keterbatasan sarana dan prasarana kebinamargaan untuk mendukung pembangunan jalan dan jembatan

4.1.2 Visi dan Misi Perangkat Daerah

Visi yang dimiliki oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pacitan adalah “Tersedianya infrastruktur Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang yang memadai dalam mendukung pembangunan perekonomian masyarakat”. Sedangkan berikut ini merupakan misi yang dimiliki oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pacitan.

1. Terselenggaranya tata kelola pemerintahan yang bersih, efektif dan akuntabel dalam mewujudkan pelayanan prima
2. Meningkatnya layanan infrastruktur jalan dan jembatan yang memadai
3. Tersedianya sarana dan prasarana Pekerjaan Umum dalam mendukung kelancaran pembangunan infrastruktur
4. Meningkatnya infrastruktur sumber daya air yang berkelanjutan
5. Meningkatnya pelayanan infrastruktur dalam masyarakat dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat
6. Terselenggaranya penataan ruang daerah menuju pelaksanaan pembangunan yang harmoni

4.1.3 Tugas dan Fungsi Perangkat Daerah

Sesuai dengan Peraturan Bupati Pacitan Nomor 66 Tahun 2016 tentang Kedudukan, Tugas dan Fungsi, Susunan Organisasi serta Tata Kerja Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pacitan. Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang dipimpin oleh Kepala Dinas yang berkedudukan di bawah dan bertanggung jawab kepada Bupati melalui Sekretaris Daerah. Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang mempunyai tugas dinas mempunyai tugas membantu Bupati melaksanakan urusan pemerintahan bidang pekerjaan umum dan penataan ruang yang meliputi sumber daya air, cipta karya, bina

marga, peralatan dan pengujian bahan, penataan ruang serta tugas pembantuan yang diberikan kepada Kabupaten.

Berikut ini merupakan fungsi yang diselenggarakan oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang dalam melaksanakan tugasnya.

1. Perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan, pelaksanaan evaluasi dan pelaporan serta pelaksanaan administrasi sumber daya air
2. Perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan, pelaksanaan evaluasi dan pelaporan, serta pelaksanaan administrasi cipta karya
3. Perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan, pelaksanaan evaluasi dan pelaporan, serta pelaksanaan administrasi bina marga
4. Perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan, pelaksanaan evaluasi dan pelaporan serta pelaksanaan administrasi peralatan dan pengujian bahan
5. Perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan, pelaksanaan evaluasi dan pelaporan serta pelaksanaan administrasi penataan ruang
6. Pelaksanaan fungsi lain yang diberikan oleh Bupati sesuai dengan tugas dan fungsinya

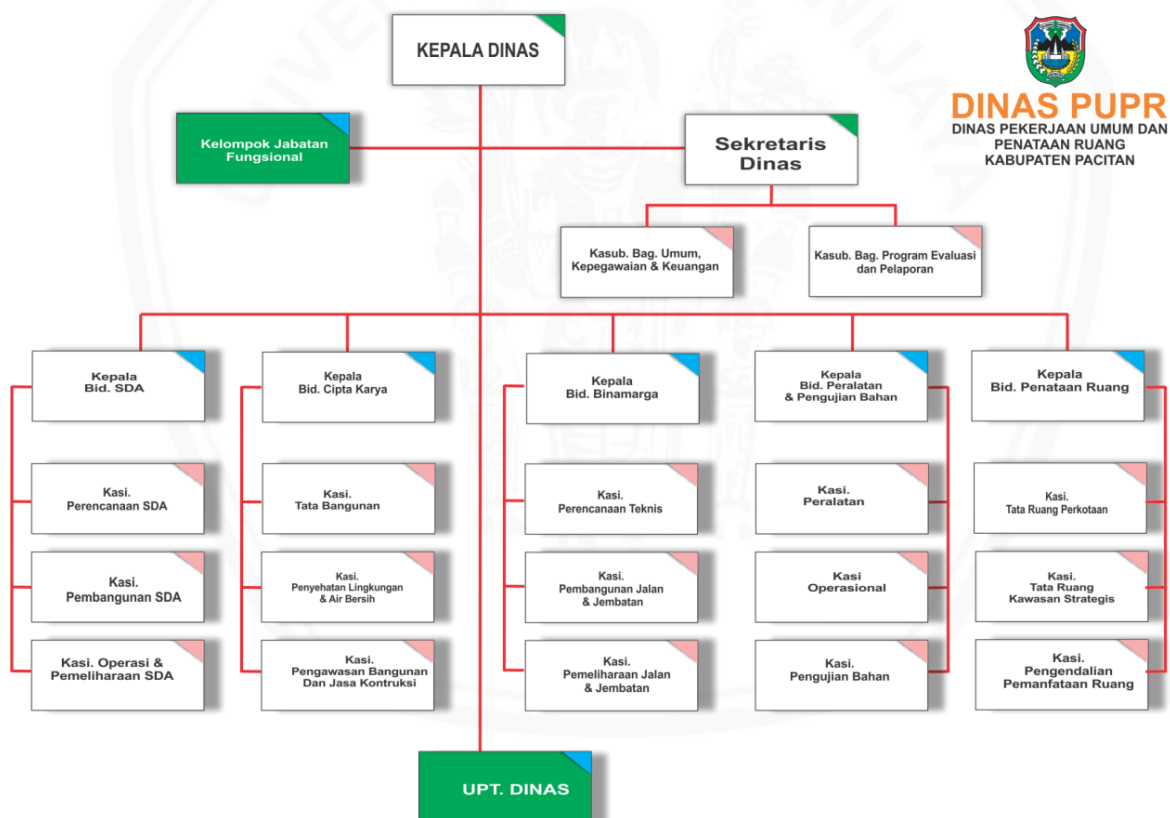
4.1.4 Struktur Organisasi

Berdasarkan Peraturan Bupati Pacitan Nomor 66 Tahun 2016, susunan organisasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan terdiri dari:

1. Kepala Dinas
2. Sekretariat, yang membawahi:
 - a. Sub Bagian Umum, Kepegawaian dan Keuangan
 - b. Sub Bagian Program, Evaluasi dan Pelaporan
3. Bidang Sumber Daya Air, yang membawahi:
 - a. Seksi Perencanaan Sumber Daya Air
 - b. Seksi Pembangunan Sumber Daya Air
 - c. Seksi Operasi dan Pemeliharaan Sumber Daya Air
4. Bidang Cipta Karya, yang membawahi:
 - a. Seksi Tata Bangunan
 - b. Seksi Penyehatan Lingkungan dan Air Bersih
 - c. Seksi Pengawasan Bangunan dan Jasa Konstruksi
5. Bidang Bina Marga, yang membawahi:
 - a. Seksi Perencanaan Teknis
 - b. Seksi Pembangunan Jalan dan Jembatan

- c. Seksi Pemeliharaan Jalan dan Jembatan
- 6. Bidang Peralatan dan Pengujian Bahan, yang membawahi:
 - a. Seksi Peralatan
 - b. Seksi Operasional
 - c. Seksi Pengujian Bahan
- 7. Bidang Penataan Ruang, yang membawahi:
 - a. Seksi Tata Ruang Perkotaan
 - b. Seksi Tata Ruang Kawasan Strategis dan Perdesaan
 - c. Seksi Pengendalian Pemanfaatan Ruang
- 8. Kelompok Jabatan Fungsional
- 9. UPT Dinas

Gambar 4.1 menunjukkan struktur organisasi yang dimiliki oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pacitan.



Gambar 4.1 Struktur organisasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan
Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

4.2 Pengumpulan Data

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada tahap pengumpulan data dibutuhkan beberapa data yang digunakan untuk mendukung penelitian ini. Pada sub-bab ini akan

dijelaskan terkait data lokasi terjadinya bencana, lokasi *depot* alat berat, jarak antar titik bencana, dan kapasitas alat berat yang dimiliki serta beberapa informasi terkait lama waktu penanganan di setiap lokasi bencana, lama waktu tempuh menuju lokasi bencana dan juga biaya penerjunan alat berat.

4.2.1 Data Lokasi Bencana

Bencana yang terjadi di Kabupaten Pacitan terjadi di beberapa ruas jalan Kabupaten Pacitan. Ada lokasi bencana yang menerjang jalan vital di Kabupaten Pacitan, yakni jalan yang menghubungkan Kabupaten Pacitan dengan wilayah lain. Hal ini mengakibatkan bantuan dari wilayah lain menjadi terhambat, sehingga arus bantuan baik logistik maupun medis menjadi sulit untuk menjangkau lokasi-lokasi yang terdampak bencana. Tabel 4.1 merupakan persebaran lokasi-lokasi yang terdampak bencana longsor, serta volume bencana yang terjadi di lokasi tersebut.

Tabel 4.1
Lokasi Bencana Longsor

Lokasi	Waktu		Kerusakan (m ³)	ID Lokasi	Tipe Jalan
	Kejadian	Penanganan			
Jalan Teleng Ria	28-Nov-17	28-Nov-17	800	2	Vital
Jalan Bangunsari - Ngadirejan	28-Nov-17	29-Nov-17	2.000	3	Non vital
Jalur Lintas Selatan	28-Nov-17	30-Nov-17	90	4	Non vital
Krajan Lor Ploso	28-Nov-17	30-Nov-17	42	5	Non vital
Pasar Arjowinangun	28-Nov-17	2-Dec-17	90	6	Non vital
Jalan Tegalombo - Bandar	28-Nov-17	3-Dec-17	800	7	Non vital
Jalan Pucangombo - Kasihan	28-Nov-17	4-Dec-17	300	8	Non vital
Jalan Ngadirojo - Wonokarto	28-Nov-17	6-Dec-17	400	9	Non vital
Jalan Tulakan - Wonokarto	28-Nov-17	8-Dec-17	800	10	Non vital
Jalan Ngadirejan - Tamansari	28-Nov-17	12-Dec-17	600	11	Non vital
Jalan Mlati - Tinatar	28-Nov-17	13-Dec-17	2.800	12	Non vital
Jalan Hadiwarno - Wonodadiwetan	28-Nov-17	14-Dec-17	600	13	Non vital
Jalan Dusun Kaliatas Desa Wiyoro	28-Nov-17	15-Dec-17	150	14	Non vital
Jalan Desa Glinggangan	29-Nov-17	13-Jan-18	96	15	Non vital
Jalan Sempu - Ngromo	29-Nov-17	28-Jan-18	300	16	Non vital
Arjowinangun	28-Nov-17	2-Dec-17	800	17	Non vital
Jalan Pancer Door	28-Nov-17	3-Dec-17	800	18	Non vital
Jl. Ki Ageng Petung	28-Nov-17	4-Dec-17	250	19	Non vital
Ploso	28-Nov-17	7-Dec-17	250	20	Non vital
Ploso	28-Nov-17	11-Dec-17	90	21	Non vital
Desa Arjowinangun	28-Nov-17	30-Nov-17	80	22	Non vital
Jalan Mentoro - Gunungsari	28-Nov-17	3-Dec-17	200	23	Non vital
Ploso	28-Nov-17	9-Dec-17	10	24	Non vital

Lokasi	Waktu		Kerusakan (m ³)	ID Lokasi	Tipe Jalan
	Kejadian	Penanganan			
Jalan Kebonagung - Sidomulyo	28-Nov-17	30-Nov-17	100	25	Non vital
Jalan Teleng Ria	28-Nov-17	4-Dec-17	30	26	Vital
Jalan Bubakan - Ngile	28-Nov-17	8-Dec-17	80	27	Non vital
Desa Karanganyar	28-Nov-17	11-Dec-17	150	28	Non vital
Jalan Pentung - Jetak	28-Nov-17	13-Dec-17	400	29	Non vital
Jalan Tinatar - Mlati	28-Nov-17	17-Dec-17	2.700	30	Non vital
Jalan Jatimalang - Karanggede	29-Nov-17	12-Jan-18	1.200	31	Non vital
Jalan Arjosari - Gondosari	28-Nov-17	4-Dec-17	4.000	32	Non vital
Jalan Pagerejo - Padi	28-Nov-17	4-Jan-18	400	33	Non vital
Jalan Ketro - Slahung	28-Nov-17	13-Dec-17	200	34	Non vital
Jalan Desa Jetis	29-Nov-17	13-Jan-18	600	35	Non vital

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

Data lokasi bencana, nantinya akan digunakan untuk memetakan dimana sajakah lokasi yang terdampak bencana longsor. Selain itu data lokasi bencana ini juga digunakan untuk mengukur jarak dari Dinas PUPR Kabupaten Pacitan menuju lokasi bencana dan jarak dari lokasi bencana menuju lokasi bencana yang lain. Lebih dari itu dalam Tabel 4.1 juga menunjukkan kapan terjadinya bencana di setiap lokasi, sehingga dapat diketahui kapan waktu penanganannya dan juga terdapat data terkait besarnya kerusakan, sehingga dapat dilakukan estimasi terkait waktu penanganan yang dibutuhkan untuk menangani dampak bencana yang terjadi.

Dari data yang terdapat di dalam Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa ada selang waktu yang cukup lama, antara waktu kejadian dengan waktu penanganan. Hal ini dapat terjadi akibat lokasi yang terdampak yang cukup jauh dari lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan. Selain itu jika melihat kembali pada Tabel 1.1 maka ada keterbatasan terkait jumlah armada alat berat yang dimiliki untuk dapat menangani bencana yang terjadi, sehingga terdapat selang waktu diantara waktu kejadian bencana dengan waktu penanganannya. Pada Tabel 4.1 juga terdapat ID lokasi yang digunakan untuk memudahkan dalam membuat model, serta terdapat tipe jalan dimana terbagi menjadi dua tipe yakni jalan vital dan jalan non vital. Jalan dengan tipe vital ini menunjukkan bahwa jalan tersebut merupakan jalan utama sebagai akses antar wilayah, sehingga berdasarkan hal ini, tipe jalan tersebut akan menunjukkan manakah jalan yang harus segera ditangani agar arus transportasi maupun bantuan dapat berjalan lancar.

4.2.2 Lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan

Lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan berada di Jalan Dewi Sartika, Sundeng Bangunsari, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan. Dinas PUPR Kabupaten Pacitan menjadi garasi bagi alat berat yang dimiliki, sehingga penerjunan alat berat akan berangkat dari lokasi ini. Sama seperti lokasi bencana, lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan nantinya juga akan digunakan untuk mengukur jarak tempuh dari lokasi tersebut menuju setiap lokasi bencana, dan masih sama seperti lokasi bencana, lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan ini juga akan diberikan ID lokasi untuk memudahkan dalam pembuatan model kedepannya. Di dalam hal ini lokasi Dinas PUPR Kabupaten Pacitan akan diberikan ID lokasi 1.

4.2.3 Data Jarak Antar Titik Bencana

Data jarak diperoleh dengan menggunakan dua lokasi yang berbeda dan diukur jaraknya. Pada penelitian ini, perhitungan jarak menggunakan bantuan *add-ins* pada *microsoft excel*, yakni Excel Gmaps, dimana *add-ins* ini mengintegrasikan antara *microsoft excel* dengan *google maps*. Sehingga jarak antar lokasi yang nantinya akan ditampilkan pada *microsoft excel* akan sesuai dengan jarak yang muncul pada *google maps*. Tahap pertama yang dilakukan adalah dengan memastikan lokasi yang terdapat pada Tabel 4.1 telah sesuai dengan titik koordinat bencana yang diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Pacitan. Setelah itu mengkonversi titik koordinat tersebut menjadi titik *longitude* dan *latitude* sebelum dimasukkan ke dalam *microsoft excel*. Pada *worksheet microsoft excel* akan dilakukan pengukuran jarak, dengan menggunakan *add-ins* Excel Gmaps.

Jarak yang telah didapatkan, selanjutnya akan dibuat ke dalam matriks jarak. Matriks jarak yang telah dibuat selanjutnya akan dilakukan pengolahan lebih lanjut untuk memperoleh matriks penghematan yang nantinya digunakan dalam penentuan rute yang akan dilalui oleh alat berat yang terpilih.

4.2.4 Data dan Kapasitas Alat Berat

Dinas PUPR Kabupaten Pacitan memiliki armada alat berat yang dapat digunakan untuk membantu penanganan bencana yang terjadi. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.1 dan batasan dalam penelitian ini, alat berat yang digunakan adalah alat berat dengan jenis *excavator*, *loader*, serta *grader*. Data kapasitas alat berat akan digunakan untuk membantu dalam perhitungan lamanya waktu penanganan untuk masing-masing alat berat

di setiap lokasi bencana. Pada Tabel 4.2 menunjukkan data alat berat beserta kapasitas yang dimiliki. Waktu siklus yang ditunjukkan di dalam Tabel 4.2, merupakan waktu siklus dari setiap alat berat untuk satu kali siklus kerja, yang terdiri dari proses mengangkat, proses memindahkan, proses membuang serta proses kembali untuk siap mengangkat kembali. Sebagai contoh untuk alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 memiliki kapasitas *bucket* sebesar $1,8 \text{ m}^3$ dan memiliki waktu siklus selama 60 detik, hal ini berarti bahwa alat berat tersebut mampu mengangkat material sebesar $1,8 \text{ m}^3$ kemudian memindahkan material tersebut, membuang material tersebut dan kembali menuju posisi untuk siap mengangkat kembali dengan selang waktu 60 detik.

Tabel 4.2

Data Alat Berat dan Kapasitasnya

No.	Alat Berat	Kapasitas <i>Bucket</i>	Waktu Siklus
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	$1,8 \text{ m}^3$	60 s
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	$1,8 \text{ m}^3$	60 s
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	$0,2 \text{ m}^3$	60 s
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	$0,8 \text{ m}^3$	75 s
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	$0,4 \text{ m}^3$	75 s
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	<i>Front</i> $0,9 \text{ m}^3$	60 s
		<i>Backhoe</i> $0,4 \text{ m}^3$	

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

4.2.5 Data Waktu Tempuh

Data waktu tempuh diperoleh dari pembagian antara jarak dari dua lokasi dengan kecepatan dari alat berat. Dimana kecepatan alat berat yang digunakan adalah kecepatan rata-ratanya, yakni 35 km/jam. Data waktu tempuh ini digunakan untuk mengetahui seberapa lama alat berat untuk menuju lokasi bencana. Berikut merupakan contoh perhitungan dari waktu tempuh alat berat dari Dinas PUPR Kabupaten Pacitan menuju lokasi bencana di Jalan Teleng Ria.

Jarak tempuh lokasi 1 dengan lokasi 2 = 4,75 km

Kecepatan rata-rata alat berat = 35 km/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu tempuh} &= \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{kecepatan rata-rata alat berat}} \\
 &= \frac{4,75 \text{ km}}{35 \text{ km/jam}} \\
 &= 0,1357 \text{ jam} \\
 &= 8,14 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

(4-1)

Selain itu perhitungan ini juga digunakan untuk mengetahui apakah lama waktu tempuh masih berada di dalam waktu operasional, yaitu jam kerja para tenaga kerja. Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, memiliki jam operasional penanganan dari pukul 08.00 hingga

pukul 16.00 dengan 1 jam istirahat diantara pukul 12.00 hingga pukul 13.00. Sehingga jam operasional untuk penanganan hanya tersedia 7 jam selama satu hari atau selama 420 menit, dan dalam kasus penanganan bencana ini hari kerja berlaku satu minggu penuh.

4.2.6 Data Waktu Penanganan untuk Setiap Titik Bencana

Data waktu penanganan diperoleh dengan membagi besarnya kerusakan dengan kapasitas serta waktu siklus dari setiap alat berat, karena setiap alat berat memiliki kapasitas dan waktu siklus masing-masing maka waktu penangananan di satu lokasi akan berbeda-beda sesuai dengan alat berat yang menangani lokasi tersebut. Data waktu penanganan digunakan untuk mengetahui seberapa lama proses penanganan yang dibutuhkan dari setiap alat berat. Sehingga nantinya akan diketahui alat berat mana yang memiliki efektifitas yang baik dari segi waktu penanganan. Berikut merupakan contoh perhitungan waktu penanganan dari alat berat *wheel loader* untuk lokasi bencana di Jalan Teleng Ria.

$$\text{Volume kerusakan} = 800 \text{ m}^3$$

$$\text{Kapasitas alat berat} = 1,8 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu siklus} = 60 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu penanganan} &= \frac{\text{volume kerusakan}}{\text{kapasitas alat berat/waktu siklus}} \\ &= \frac{800 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3/60 \text{ s}} \\ &= 26.666,67 \text{ s} \\ &= 444,44 \text{ menit} \end{aligned} \quad (4-2)$$

Sama halnya seperti waktu tempuh, waktu penanganan ini juga digunakan untuk mengetahui apakah lama waktu penanganan masih berada dalam satu hari operasional, atau membutuhkan waktu operasional yang lebih lama.

4.2.7 Data Biaya Penerjunan Alat Berat

Pada penelitian ini, perhitungan biaya penerjunan alat berat mencakup beberapa hal, yakni biaya tenaga kerja alat berat, biaya bahan bakar, serta biaya penyewaan truk angkut *excavator*. Pada sistem yang berlaku di Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, biaya tenaga kerja alat berat dihitung berdasarkan insentif yang diterima para tenaga kerja, yakni sebesar Rp. 150.000,00 untuk satu hari, dimana setiap alat berat hanya dikendarai oleh satu orang tenaga kerja. Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan jatah setiap alat berat dalam satu hari. Bahan bakar yang digunakan pada alat berat adalah bahan bakar berjenis solar non

subsidi, dimana per tanggal 11 Juni 2018 harga bahan bakar tersebut senilai Rp. 10.100,00. Tabel 4.3 menunjukkan jatah bahan bakar dari setiap alat berat.

Alat berat berjenis *excavator* tidak dapat menuju lokasi bencana seperti alat berat yang lain. *Excavator* ini membutuhkan truk untuk mengangkutnya dan membawanya mencapai lokasi bencana. Truk angkut ini tidak dimiliki oleh Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, oleh karena itu Dinas PUPR Kabupaten Pacitan harus menyewa truk angkut dari instansi lain, dimana biaya sewa untuk satu kali angkut sebesar Rp. 2.000.000,00.

Tabel 4.3

Jatah Bahan Bakar Setiap Alat Berat

No.	Alat Berat	Jatah Bahan Bakar (liter/hari)	Biaya Bahan Bakar/Hari
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	80	Rp. 808.000,00
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	80	Rp. 808.000,00
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	80	Rp. 808.000,00
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	120	Rp. 1.212.000,00
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	120	Rp. 1.212.000,00
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	80	Rp. 808.000,00

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

4.3 Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan dilakukan pengolahan untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Pada pengolahan data ini akan dilakukan dua macam pengolahan, dimana pengolahan data yang pertama adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi penanganan bencana saat ini, sedangkan yang kedua adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi penanganan bencana jika menggunakan pendekatan manajemen transportasi dan penentuan rute menggunakan *minimum spanning tree*. Pengolahan data diawali dengan menghitung jarak, waktu tempuh serta waktu penanganan *existing* berdasarkan model konseptual saat ini. Kemudian dilakukan perhitungan biaya berdasarkan pengeluaran yang telah dilakukan di dalam perhitungan tersebut.

Selanjutnya untuk melakukan perhitungan dengan pendekatan manajemen transportasi dan penentuan rute menggunakan *minimum spanning tree*. Penentuan rute nantinya akan menggunakan dua algoritma, dimana algoritma pertama menggunakan *modified christofides et al. algorithm*, dimana menggunakan algoritma yang telah dikembangkan oleh Pearn dan Wu (1995) dalam penelitiannya yang berjudul *Algorithms For The Rural Postman Problem*. Selanjutnya algoritma kedua menggunakan algoritma yang dikembangkan berdasarkan studi kasus yang diangkat. Pada dasarnya kedua algoritma ini nantinya sama-sama menggunakan MST sebagai model jalur yang akan dilalui oleh setiap

alat berat, dengan lebih mengutamakan penanganan pada lokasi-lokasi vital terlebih dahulu, sebelum melakukan penanganan pada lokasi bencana yang lain. Terakhir setelah setiap lokasi bencana telah dilakukan penanganan dan setiap alat berat telah kembali ke lokasi awalnya yakni Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung biaya yang dikeluarkan berdasarkan penerjunan tersebut.

4.3.1 Rute Penanganan *Existing*

Jika melihat kondisi yang ada, proses penanganan bencana oleh Dinas PUPR Kabupaten Pacitan memiliki beberapa batasan. Dimana batasan dari kondisi yang ada saat ini adalah berupa alat berat yang bermacam-macam serta adanya waktu operasional yang membatasi waktu penanganan dalam satu hari kerja, sehingga setiap alat berat memiliki rute penanganannya masing-masing. Rute yang dilalui oleh setiap alat berat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

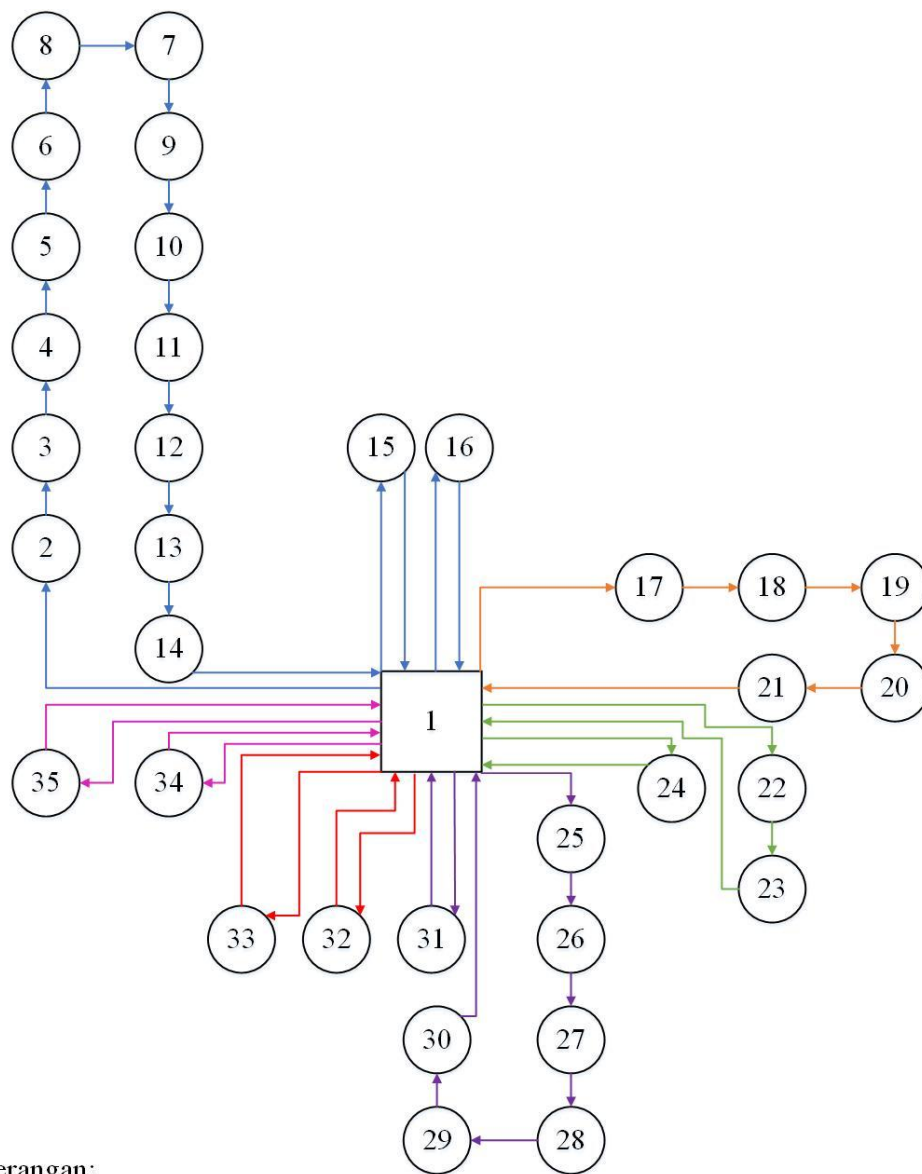
Tabel 4.4
Rute dan Urutan Penanganan *Existing*

No.	Alat Berat	Rute
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→11→12 →13→14→1→15→1→16
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	1→17→18→19→20→21→1
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	1→22→23→1→24→1
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	1→25→26→27→28→29→30→1→31→1
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	1→32→1→33→1
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	1→34→35→1

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Pacitan (2017)

Guna memahami bagaimana rute penanganan lokasi bencana yang dilakukan saat ini maka dibuat model strukturnya. Hal ini nantinya dapat membantu dalam menganalisis bagaimana rute *existing* dengan rute setelah menggunakan pendekatan manajemen transportasi dan penentuan rute menggunakan *minimum spanning tree*. Penentuan rute dan urutan penanganan bencana yang dilakukan oleh Dinas PUPR Kabupaten Pacitan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa alat berat yang diterjunkan untuk melakukan penanganan bencana berangkat dan berakhir kembali di Dinas PUPR Kabupaten Pacitan. Selain itu, pada Gambar 4.2 diketahui pula bahwa alokasi penanganan bencana untuk setiap alat berat berbeda-beda, seperti pada alat berat berjenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5 yang memiliki lokasi yang lebih banyak dari pada alat berat jenis yang lainnya. Namun dari Gambar 4.2 pula dapat dilihat bahwa setiap satu lokasi bencana akan ditangani oleh satu alat berat. Lebih dari itu, jika dilihat pada Tabel 4.4 maupun Gambar 4.2, terdapat beberapa alat berat yang kembali menuju *depot*, sedangkan lokasi bencana

masih ada yang belum tertangani. Hal ini terjadi oleh alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5, *motor grader* Mitsubishi MG 3H, *excavator* Komatsu PC 200-6 dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Hal ini menjadikan penanganan yang ada saat ini kurang efektif, karena kejadian bencana yang ditangani sudah teridentifikasi sejak tanggal 28 hingga 29 November, namun penanganan sempat terhenti dan kembali menuju depot sebelum kembali melakukan penanganan.



Keterangan:

- Dinas PUPR
- Lokasi Bencana
- Rute Penanganan
- *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5
- *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1
- *Motor Grader* Mitsubishi MG 3 H
- *Excavator* Komatsu PC 200-6
- *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*)
- *Backhoe Loader* Holland B 90-B

Gambar 4.2 Model rute dan urutan penanganan bencana *existing*

4.3.2 Perhitungan Jarak dan Waktu Tempuh *Existing*

Perhitungan jarak *existing* akan menggunakan rute yang telah dilakukan Dinas PUPR Kabupaten Pacitan saat ini, yakni dengan melihat rute yang terdapat pada Tabel 4.4 dan melihat jaraknya berdasarkan matriks jarak yang telah dibuat. Sedangkan untuk waktu tempuh *existing*, akan menggunakan perhitungan dari pembagian jarak antar lokasi dengan kecepatan alat berat. Waktu tempuh ini merupakan waktu tempuh alat berat dari satu lokasi menuju lokasi yang lain dalam kondisi yang normal, atau dalam kondisi jalan yang lancar dengan kecepatan alat berat yang normal dan konstan, yakni 35 km/jam. Meski dalam penerjunannya alat berat ini akan memiliki hambatan berupa jalan yang tertutup oleh longsor dan akan melakukan penanganan terlebih dahulu sebelum dapat melanjutkan perjalanannya, dalam perhitungan dibawah ini hanya akan menghitung lama waktu tempuh dari alat berat tersebut, terlepas dari lamanya penanganan yang dilakukan. Hal ini digunakan untuk mengelompokkan jenis waktu yang dibutuhkan, dimana nantinya akan dilakukan analisis terkait waktu tersebut. Contoh perhitungan jarak dan waktu tempuh *existing* akan dilakukan untuk alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5. Berikut merupakan contoh perhitungannya.

1. Jarak 1 ke 2 = 4,75 km
2. Jarak 2 ke 3 = 14,526 km
3. Jarak 3 ke 4 = 19,883 km
4. Jarak 4 ke 5 = 8,355 km
5. Jarak 5 ke 6 = 3,034 km
6. Jarak 6 ke 7 = 43,754 km
7. Jarak 7 ke 8 = 19,71 km
8. Jarak 8 ke 9 = 14,529 km
9. Jarak 9 ke 10 = 0,665 km
10. Jarak 10 ke 11 = 60,631 km
11. Jarak 11 ke 12 = 15,739 km
12. Jarak 12 ke 13 = 56,222 km
13. Jarak 13 ke 14 = 6,36 km
14. Jarak 14 ke 1 = 50,592 km
15. Jarak 1 ke 15 = 10,566 km
16. Jarak 15 ke 1 = 10,566 km
17. Jarak 1 ke 16 = 41,337 km
18. Jarak 16 ke 1 = 41,337 km

$$\begin{aligned}
 19. \text{ Total waktu tempuh} &= \sum \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{kecepatan rata-rata alat berat}} \\
 &= \frac{4,75 \text{ km}}{35 \text{ km/jam}} + \frac{14,526 \text{ km}}{35 \text{ km/jam}} + \frac{19,883 \text{ km}}{35 \text{ km/jam}} + \dots + \frac{41,337 \text{ km}}{35 \text{ km/jam}} \\
 &= 12,073 \text{ jam} \\
 &= 724,382 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan jarak dan waktu tempuh untuk alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5, diketahui bahwa dengan rute yang dimiliki saat ini, alat berat tersebut memiliki jarak tempuh total sebesar 422,556 km dan waktu tempuh selama 12,073 jam atau 728,382 menit. Sedangkan untuk jenis alat berat yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5
Jarak dan Waktu Tempuh *Existing*

No.	Alat Berat	Rute	Jarak Tempuh (km)	Waktu Tempuh (menit)
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	1→2→3→4→5→6→7→ 8→9→10→11→12→13 →14→1→15→1→16	422,556	724,382
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	1→17→18→19→20→21 →1	128,568	220,402
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	1→22→23→1→24→1	141,931	243,31
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	1→25→26→27→28→29 →30→1→31→1	218,786	375,06
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	1→32→1→33→1	101,068	173,259
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	1→34→35→1	85,862	147,192

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat jarak dan waktu tempuh dari setiap alat berat saat ini. Dimana alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5 memiliki jarak dan waktu tempuh yang lebih panjang dan lama dibandingkan yang lain, yakni sejauh 422,556 km dan selama 724,382 menit. Hal ini diakibatkan rute dan lokasi bencana yang ditangani memiliki jumlah yang lebih banyak pula dari pada alat berat yang lain. Meski demikian, jika membandingkan antara alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 180-1 dengan *motor grader* Mitsubishi MG 3H, meski *wheel loader* Komatsu WA 180-1 memiliki rute dan lokasi bencana yang ditangani lebih banyak dari pada *motor grader* Mitsubishi MG 3H, namun *wheel loader* Komatsu WA 180-1 memiliki jarak tempuh sejauh 128,568 km dan waktu tempuh selama 220,402 menit, dimana hal ini lebih pendek dari pada *motor grader* Mitsubishi MG 3H yang memiliki jarak tempuh sejauh 141,931 km dan waktu tempuh selama 243,31 menit.. Jika melihat dari Tabel 4.5 hal ini dapat terjadi mungkin

dikarenakan *motor grader* Mitsubishi MG 3H yang memiliki *trip* dua kali dari dan menuju Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, sedangkan *wheel loader* Komatsu WA 180-1 hanya satu kali. Selain itu dapat dikarenakan jarak antar lokasi bencana yang ditangani oleh *motor grader* Mitsubishi MG 3H yang lebih jauh dari pada lokasi antar bencana yang ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Sedangkan untuk alat berat berjenis *excavator*, tipe *long arm* memiliki jarak tempuh dan waktu tempuh yang lebih singkat dari yang bertipe biasa. Hal ini dikarenakan lokasi yang ditangani oleh *Excavator* Komatsu PC 200-6 lebih banyak dari lokasi yang ditangani oleh *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*).

4.3.3 Perhitungan Waktu Penanganan *Existing*

Seperti yang dijelaskan pada sub-bab 4.3.2, untuk memudahkan pengelompokan jenis waktu yang dibutuhkan, maka pada sub bab ini akan dijelaskan terkait perhitungan waktu penanganannya. Perhitungan waktu penanganan dilakukan dengan membagi volume kerusakan yang terjadi dengan kapasitas tiap siklus dari alat berat. Perhitungan waktu penanganan *existing* akan dilakukan berdasarkan lokasi bencana dan alat berat yang diterjunkan saat ini. Dimana lokasi bencana dan alat berat yang digunakan akan mengikuti rute yang ada pada Tabel 4.4, sedangkan untuk kapasitas dan waktu siklus akan menggunakan data yang terdapat pada Tabel 4.2. Perhitungan waktu penanganan dari alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan digunakan sebagai contoh.

1. Kerusakan di lokasi 2 = 800 m³
2. Kerusakan di lokasi 3 = 2.000 m³
3. Kerusakan di lokasi 4 = 90 m³
4. Kerusakan di lokasi 5 = 42 m³
5. Kerusakan di lokasi 6 = 90 m³
6. Kerusakan di lokasi 7 = 800 m³
7. Kerusakan di lokasi 8 = 300 m³
8. Kerusakan di lokasi 9 = 400 m³
9. Kerusakan di lokasi 10 = 800 m³
10. Kerusakan di lokasi 11 = 600 m³
11. Kerusakan di lokasi 12 = 2.800 m³
12. Kerusakan di lokasi 13 = 600 m³
13. Kerusakan di lokasi 14 = 150 m³
14. Kerusakan di lokasi 15 = 96 m³
15. Kerusakan di lokasi 16 = 300 m³

$$\begin{aligned}
 16. \text{ Total waktu penanganan} &= \sum \frac{\text{volume kerusakan}}{\text{kapasitas alat berat/waktu siklus}} \\
 &= \frac{800 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3/60 \text{ s}} + \frac{2.000 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3/60 \text{ s}} + \frac{90 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3/60 \text{ s}} + \dots + \frac{300 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3/60 \text{ s}} \\
 &= 328.933,33 \text{ s} \\
 &= 5.482,22 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan total waktu penanganan dari alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5, diketahui bahwa saat ini alat berat tersebut membutuhkan waktu selama 5.482,22 menit untuk menangani seluruh lokasi bencana yang menjadi lokasi cakupannya. Sedangkan untuk jenis alat berat yang lain, dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6

Total Waktu Penanganan *Existing*

No.	Alat Berat	Lokasi Bencna	Total Kerusakan (m ³)	Total Waktu Penanganan (menit)
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 12, 13, 14, 15, 16	9.868	5.482,22
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	17, 18, 19, 20, 21	2.190	1.216,67
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	22, 23, 24	290	1.450
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	4.660	7.281,25
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	32, 33	4.400	13.750
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	34, 35	800	615,38

Tabel 4.6 menunjukkan total waktu penanganan setiap jenis alat berat yang digunakan. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, hal ini bukan berarti pada pengerjaannya seluruh kerusakan yang ada dihitung secara total dan kemudian dibagi dengan kapasitas dan waktu siklusnya, karena secara praktik pengerjaannya dilakukan secara bertahap, yakni alat berat menuju suatu lokasi bencana kemudian diukur jarak dan waktu tempuhnya, kemudian melihat hambatan yang dihadapi berupa besar kerusakan longsornya dan baru dihitung lama waktu penanganannya. Kembali ditegaskan kenapa pada sub bab ini hanya membahas terkait besarnya kerusakan dan lamanya waktu penanganan, hal ini dilakukan untuk memudahkan pengelompokan jenis waktu yang dibutuhkan, dimana pada sub bab ini terkait waktu penanganannya. Dari tabel 4.6 tersebut dapat diketahui bahwa setiap jenis alat berat memiliki total waktu penanganan yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena total waktu penanganan memiliki beberapa faktor yang mempengaruhinya, yakni total kerusakan, jumlah lokasi bencana serta kapasitas dari setiap alat berat yang digunakan.

Seperti yang dijelaskan, bahwa apa yang ditunjukkan adalah untuk memudahkan pengelompokan jenis waktu yang dibutuhkan dalam penerjunan alat berat. Jika melihat pembahasan sebelumnya, maka jenis waktu yang telah muncul terdapat dua jenis, yakni waktu tempuh dan waktu penanganan. Sebenarnya terdapat satu jenis waktu yang ada dalam penerjunan alat berat ini, yakni waktu *idle*. Dimana waktu ini terkait waktu yang dikeluarkan oleh alat berat ketika tidak melakukan suatu penanganan. Hal ini terjadi karena masih terdapat lokasi bencana yang belum tertangani, namun akses menuju ke lokasi tersebut masih tertutup oleh bencana lain yang sedang ditangani oleh alat berat yang lain. Untuk memahami bagaimana penerjunan alat berat pada kondisi *existing* ini dapat di lihat pada Lampiran 28. Guna memberikan acuan terkait membaca lampiran tersebut, akan diberikan contoh pembacaan penerjunannya.

Pada Lampiran 28, rute *motor grader* Mitsubishi MG 3H kondisi *existing* menunjukkan bahwa alat berat ini menangani tiga lokasi, dengan rute *depot* (1), lokasi 22, lokasi 23, *depot*, lokasi 24 dan kembali ke *depot*. Waktu tempuh dari *depot* menuju lokasi 22 selama 8,059 menit, dan pada lokasi tersebut alat berat ini melakukan penanganan selama 400 menit tanpa adanya waktu *idle* sebelum berlanjut menuju lokasi 23. Waktu tempuh dari lokasi 22 menuju lokasi 23 adalah 14,038 menit dimana pada lokasi 23 tersebut alat berat ini kembali melakukan penanganan selama 1.000 menit dan kembali tanpa adanya waktu *idle*. Dari penerjunan menuju dua lokasi tersebut, *time windows* hari pertama yang dimiliki oleh *motor grader* Mitsubishi MG 3H telah terlampaui, hal ini dapat dilihat pada Lampiran 28 pada bagian penerjunan *motor grader* Mitsubishi MG 3H kondisi *existing*. Pada hari pertama total waktu yang dibutuhkan oleh alat berat tersebut untuk menangani dua lokasi bencana adalah 1.422,097 menit, yang merupakan akumulasi dari waktu tempuh, waktu penanganan dan waktu *idle*. Sedangkan waktu yang tersedia selama satu hari hanya sebatas *time windows* yakni 420 menit, sehingga masih dibutuhkan waktu 1.002,097 menit. Oleh karena itu, untuk menangani lokasi 22 dan 23 dibutuhkan waktu hingga hari ke tiga secara penuh dan 162,097 menit yang diambil dari hari ke empat. Pada hari ke empat, setelah selesai melakukan penanganan pada lokasi 23, *motor grader* Mitsubishi MG 3H kembali menuju *depot* dengan lama waktu tempuh 19,798 menit sebelum kembali diterjunkan untuk menangani lokasi 24 dengan waktu tempuh 100,707 menit dan lama penanganan pada lokasi 24 selama 50 menit. Karena total waktu tempuh dan waktu penanganan pada hari ke empat tersebut telah melebihi *time windows* (433 menit) maka 13,310 menit sisa waktu yang dibutuhkan akan di lanjutkan pada hari ke lima,

sehingga pada hari ke lima dari 420 menit waktu yang tersedia hanya tersisa 406,690 menit dan *motor grader* Mitsubishi MG 3H telah berada kembali di *depot*.

4.3.4 Perhitungan Biaya Penanganan

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, bahwa pada perhitungan biaya ada beberapa hal yang akan diperhitungkan, yakni biaya tenaga kerja alat berat, biaya bahan bakar, serta biaya penyewaan truk angkut *excavator*. Pada pengumpulan data diketahui bahwa data biaya penerjunan alat berat menggunakan sistem jatah setiap hari, sehingga pada perhitungan biaya penanganan ini akan dilakukan perhitungan sesuai dengan sistem tersebut. Dimana total waktu tempuh dan total waktu penanganan akan diakumulasikan dan dikonversi dari satuan menit ke satuan hari sebelum dikalikan biaya-biaya yang mempengaruhi. Perhitungan biaya penanganan dari alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan digunakan sebagai contoh.

1. Total waktu tempuh = 724,382 menit
2. Total waktu penanganan = 5.482,22 menit
3. Waktu operasional = 420 menit/hari
4. Insentif tenaga kerja = Rp. 150.000,00/hari
5. Biaya bahan bakar = Rp. 808.000,00/hari
6. Total hari kerja

$$= \frac{\text{total waktu tempuh} + \text{total waktu penanganan}}{\text{waktu operasional}}$$

$$= \frac{724,382 \text{ menit} + 5.482,22 \text{ menit}}{420 \text{ menit/hari}}$$

$$= \frac{6.206,602 \text{ menit}}{420 \text{ menit/hari}}$$

$$= 14,78 \text{ hari} \approx 15 \text{ hari}$$
7. Total biaya

$$= \text{total hari kerja} \times (\text{insentif tenaga kerja} + \text{biaya bahan bakar})$$

$$= 15 \text{ hari} \times (\text{Rp. 150.000,00/hari} + \text{Rp. 808.000,00/hari})$$

$$= 15 \text{ hari} \times \text{Rp. 958.000,00/hari}$$

$$= \text{Rp. 14.370.000,00}$$

Pada perhitungan biaya untuk alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5, diketahui bahwa selama penerjunana alat berat tersebut untuk menangani lokasi bencana telah menghabiskan biaya sebesar Rp. 14.370.000,00, dimana biaya itu diperoleh dari penerjunan alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5 selama 15 hari kerja. Perhitungan biaya penerjunan untuk alat berat yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7
Biaya Penerjunan Alat Berat

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkut)	Sewa Truk (angkut)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	724,382	5.482,22	6.206,602	15	150.000	808.000	-		14.370.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	220,402	1.216,67	1.437,072	4		808.000	-		3.832.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	243,31	1.450	1.793,31	5		808.000	-		4.790.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	375,06	7.281,25	7.656,31	19		1.212.000,00	2.000.000,00	9	43.878.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	173,259	13.750	13.923,259	34		1.212.000,00	2.000.000,00	4	54.308.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	147,192	615,38	762,572	2		808.000	-		1.916.000
Total	1.883,605	29.795,520	31.679,125	79					123.094.000

Dari tabel 4.7 diketahui jika total biaya penanganan dengan rute, lokasi bencana dan alat berat yang diterjunkan saat ini sebesar Rp. 123.094.000,00. Dimana pengeluaran terbesar adalah untuk penerjunan alat berat berjenis *excavator*. Jika melihat Tabel 4.5 maupun Tabel 4.6, alat berat jenis *excavator* memiliki lokasi bencana yang lebih sedikit dari alat berat jenis *wheel loader* Komatsu WA 200-5, namun kapasitas yang lebih kecil pula menyebabkan alat berat jenis *excavator* ini memiliki waktu penanganan serta hari kerja yang lebih panjang dari pada alat berat dengan jenis yang berbeda. Selain itu, alat berat berjenis *excavator* ini tidak dapat mobilisasi secara langsung seperti alat berat yang lain, *excavator* ini memerlukan truk untuk membantunya mobilisasi dari satu lokasi

menuju lokasi yang lain. Sedangkan truk ini harus disewa dengan biaya sewa sebesar Rp. 2.000.000,00 untuk setiap kali angkut. Hal ini menyebabkan biaya untuk penerjunan *excavator* ini menjadi lebih besar dari pada alat berat yang lain.

Untuk alat berat selain *excavator*, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 memiliki biaya penerjunan yang paling besar, yakni Rp. 14.370.000,00, disusul dengan *motor grader* Mitsubishi MG 3H sebesar 4.790.000,00, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 sebesar Rp. 3.832.000,00, dan terakhir *backhoe loader* Holland B 90B sebesar Rp. 1.916.000,00. Selanjutnya biaya penanganan saat ini yang sebesar Rp. 123.094.000,00 akan dibandingkan dengan biaya penanganan ketika menggunakan pendekatan manajemen transportasi dan MST.

4.3.5 Manajemen Transportasi dengan Menggunakan MST

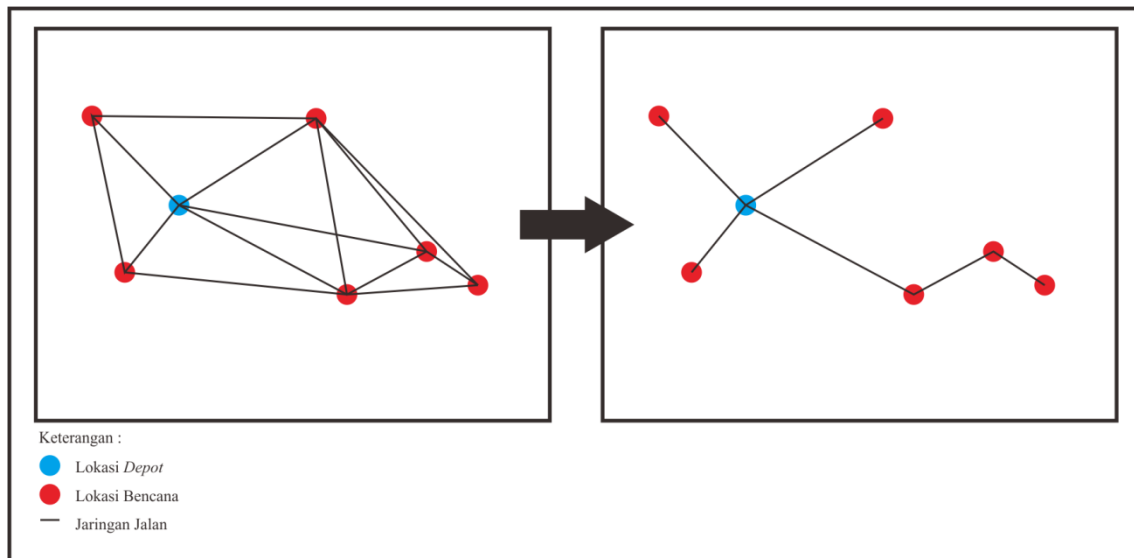
Pada bagian ini akan diuraikan terkait gambaran permasalahan yang akan dihadapi, bagaimana pengembangan maupun penyusunan algoritma berdasarkan gambaran tersebut dan pendekatan yang dilakukan, hingga tahapan untuk memperoleh hasil dari algoritma itu.

4.3.5.1 Gambaran Permasalahan yang Akan Dihadapi

Jika melihat bagaimana kondisi yang telah dipaparkan pada pembahasan sebelumnya, akan dapat diketahui beberapa hal yang menjadi permasalahan dalam penanganan bencana longsor di wilayah Pacitan tersebut. Beberapa permasalahan tersebut adalah lokasi bencana yang dapat berkembang, batas waktu kerja operasional alat berat, cara penentuan jalur penanganan, adanya jalur vital yang tertimpa bencana, serta terbatasnya jumlah dan kapasitas alat berat. Berdasarkan permasalahan-permasalahan tersebut selanjutnya akan lebih digali untuk mengetahui bagaimana permasalahan-permasalahan tersebut ketika dihadapkan dengan manajemen transportasi dan juga *minimum spanning tree*. Berikut merupakan gambaran permasalahan yang akan dihadapi tersebut.

1. Lokasi bencana yang berkembang
 - a. Lokasi bencana disusun dalam *minimum spanning tree*

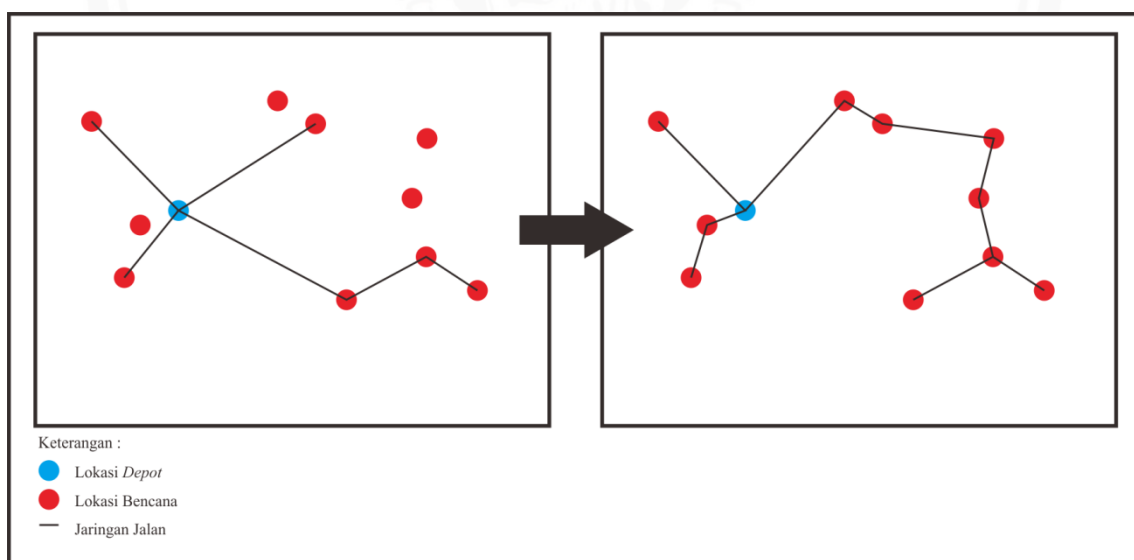
Lokasi bencana yang terjadi akan disusun ke dalam *minimum spanning tree*, hal ini dilakukan untuk memetakan jalur penanganan yang nantinya akan dilalui oleh alat berat yang diterjunkan. Penggunaan MST ini akan menghubungkan setiap lokasi bencana dengan total jarak yang terpendek, sehingga harapannya dapat lebih mempersingkat waktu tempuh alat berat untuk menangani lokasi bencana yang ada. Gambar 4.3 menunjukkan bagaimana permasalahan ini digambarkan.



Gambar 4.3 Lokasi bencana disusun dalam MST

b. *Minimum spanning tree* yang berkembang

Minimum spanning tree akan mengalami perkembangan seiring dengan bertambahnya lokasi bencana yang terjadi. Hal ini menjadi permasalahan dikarenakan bencana yang sifatnya sulit untuk diprediksi, sehingga memungkinkan untuk munculnya lokasi bencana baru di waktu yang akan datang. Oleh karena itu MST akan terus berkembang selama lokasi bencana baru bermunculan. Permasalahan ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.

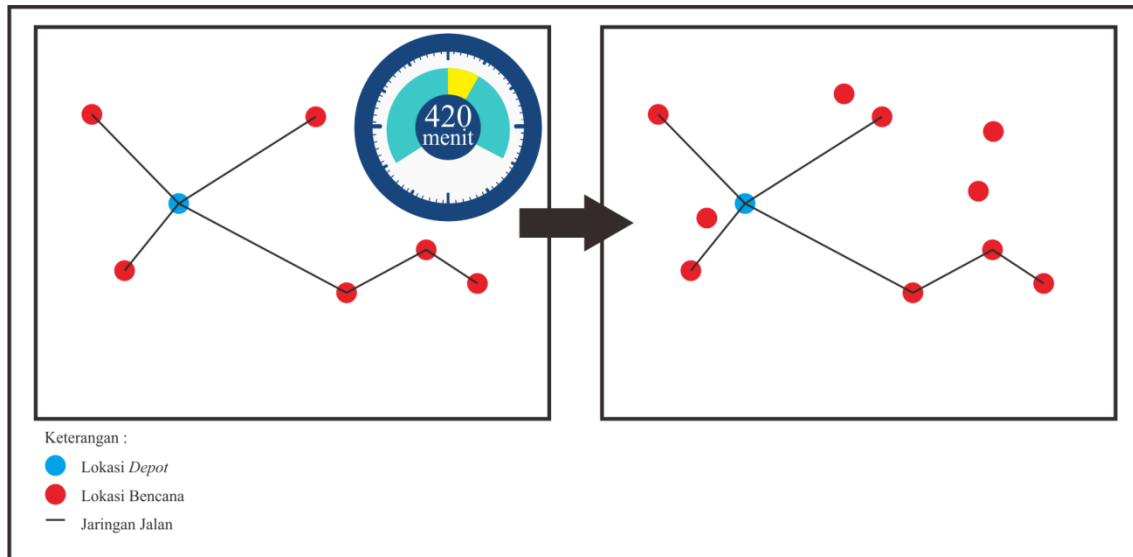


Gambar 4.4 MST yang berkembang

c. Pembaruan lokasi bencana

Berkembangnya *minimun spanning tree* yang diakibatkan oleh adanya lokasi bencana yang baru membuat permasalahan terkait kapan pembaruan atas lokasi bencana ini sebaiknya dilakukan. Pada penelitian ini pembaruan lokasi bencana akan dilakukan setiap kali *time windows* telah tercapai. Hal ini dilakukan untuk

memudahkan pemetaan lokasi bencana yang baru dan juga sebagai acuan batas waktu pendataan lokasi bencana yang akan ditangani pada hari selanjutnya. Seperti yang diketahui, jika *time windows* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 420 menit atau selama jam operasional alat berat. Gambar 4.5 menunjukkan pembaruan lokasi bencana ini.

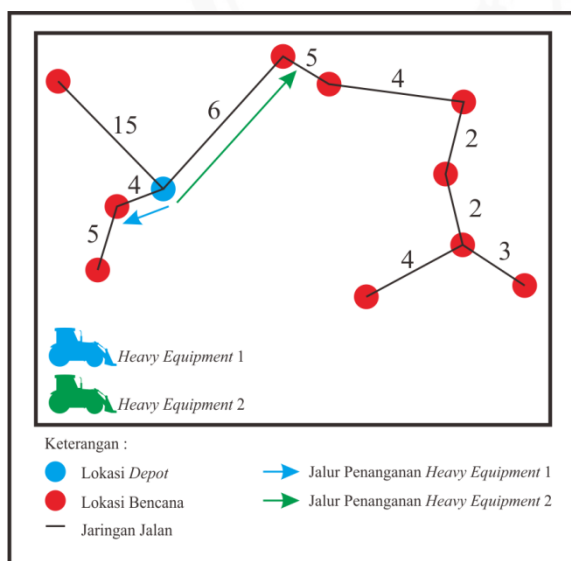


Gambar 4.5 Pembaruan lokasi bencana

2. Penanganan bencana

a. Penanganan berdasarkan lokasi terdekat

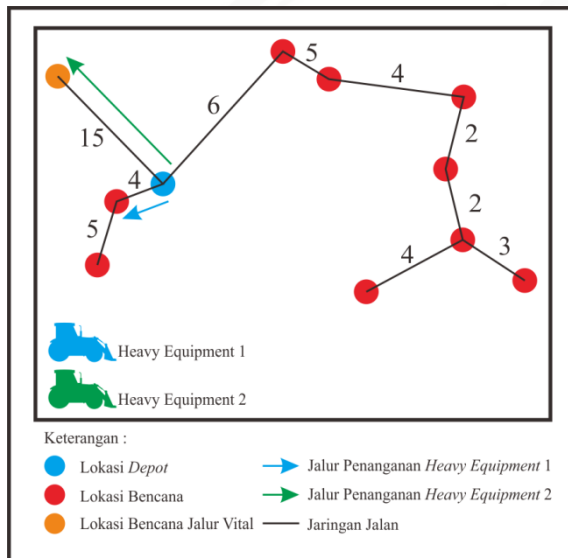
Penggunaan MST dalam memetakan jalur penanganan membuat setiap bencana terhubung dengan jalur yang memiliki total jarak terpendek. Hal inilah yang coba disampaikan dari Gambar 4.6, bahwa penanganan akan dilakukan dari suatu lokasi menuju lokasi selanjutnya berdasarkan jarak terdekatnya.



Gambar 4.6 Penanganan berdasarkan lokasi terdekat





b. Urgensi jalur vital

Seperti yang terjadi pada kondisi *existing* bahwa terdapat jalur utama atau vital yang tertimpa bencana pula, dimana jalur ini merupakan jalur utama yang menghubungkan wilayah Pacitan dengan wilayah di Jawa Tengah. Berdasarkan hal ini, maka semestinya penanganan akan dilakukan terlebih dahulu pada lokasi ini, sebelum berlanjut untuk menangani lokasi yang lain. Hal inipun sesuai dengan prinsip manajemen transportasi, yakni mengoptimalkan mobilisasi barang, orang maupun jasa. Pada Gambar 4.7, permasalahan ini digambarkan dengan jalur penanganan *heavy equipment* 2 yang menangani terlebih dahulu lokasi vital dengan jarak 15 dari *depot* dari pada lokasi bencana yang memiliki jarak lebih dekat dari *depot*. Sehingga ini menunjukkan bahwa adanya urgensi untuk menangani jalur vital terlebih dahulu.



Gambar 4.7 Urgensi jalur vital

c. Pemilihan alat berat

Heavy Equipment	Capacity	Availability	Selected
	3 m ³ /minutes	No	<input type="checkbox"/>
	2,8 m ³ /minutes	No	<input type="checkbox"/>
	1,5 m ³ /minutes	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>
	0,2 m ³ /minutes	Yes	<input type="checkbox"/>

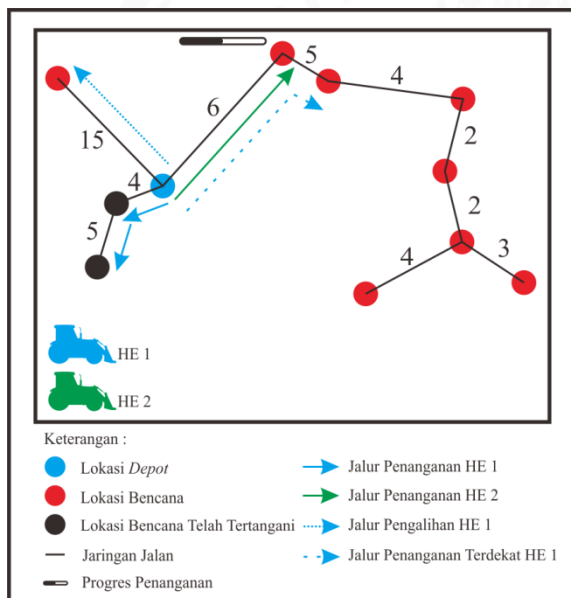
Gambar 4.8 Pemilihan alat berat

Seperti pada Gambar 4.8, bahwa pemilihan alat berat yang diterjunkan berdasar pada alat berat yang tersedia dengan kapasitas terbesar. Ini dilakukan untuk

mempercepat proses penanganan dan meningkatkan efisiensi. Hal ini menjadi solusi dari permasalahan penentuan alat berat yang perlu diterjunkan.

d. Pengalihan penanganan

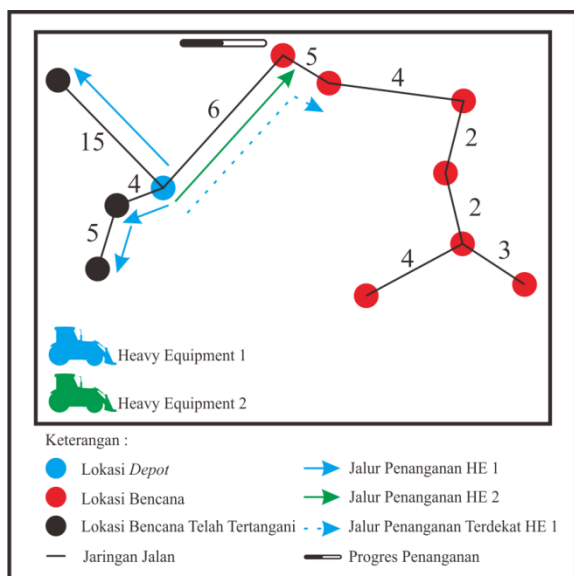
MST yang terbentuk akan menjadi jalur penanganan yang akan dilakukan. Permasalahan yang muncul dari sini adalah, ketika suatu alat berat telah selesai melakukan penanganan pada suatu lokasi dan akan diterjunkan menuju lokasi terdekat selanjutnya, namun lokasi tersebut masih terhalang karena adanya lokasi bencana yang sedang dilakukan penanganan oleh alat berat yang lain. Pemilihan alternatif lokasi yang ditangani selanjutnya maka akan melihat jalur yang mampu untuk dilalui dengan jarak terdekat. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.9, *heavy equipment* 1 yang telah menangani 2 lokasi, selanjutnya akan melakukan penanganan pada lokasi terdekat, namun lokasi tersebut masih terhalang oleh *heavy equipment* 2, sehingga penanganannya dialihkan menuju lokasi bencana terdekat selanjutnya yang jalurnya mampu untuk dilalui.



Gambar 4.9 Pengalihan penanganan

e. Alat berat yang *idle*

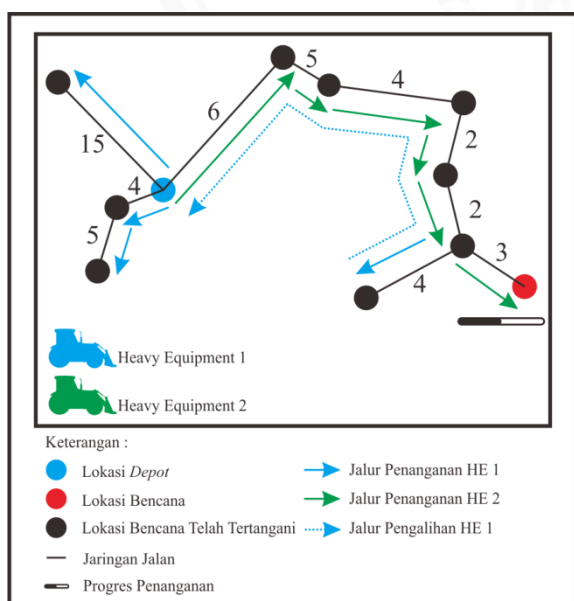
Kondisi yang sama seperti pada poin sebelumnya. Permasalahan yang muncul adalah ketika *heavy equipment* 1 telah selesai menangani lokasi dengan jarak 15 dari *depot*, kemudian penanganan selanjutnya berdasarkan jarak terpendek dari lokasi tersebut, namun masih terhalang oleh penanganan dari *heavy equipment* 2. Ketika dihadapkan dengan permasalahan ini, maka *heavy equipment* 1 akan *idle* hingga lokasi bencana yang menghalanginya telah selesai tertangani oleh *heavy equipment* 2. Gambaran dari kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Alat berat yang idle

f. Lokasi bencana telah tertangani seluruhnya

Gambaran permasalahan selanjutnya adalah ketika seluruh lokasi telah tertangani atau setidaknya telah ada alat berat yang melakukan penanganan di semua lokasi bencana, maka alat berat yang telah selesai melakukan penanganan dapat dialihkan kembali menuju *depot*. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kesiapan siaga dalam melakukan penanganan jika terjadi bencana susulan. Mengingat dalam kasus ini, *depot* merupakan lokasi *central* dalam penertjuran alat berat. Pengalihan ini dapat dilihat pada Gambar 4.11, dimana seluruh lokasi telah tertangani dan satu lokasi sedang dilakukan penanganan oleh *heavy equipment 2*, dan karena *heavy equipment 1* telah selesai menangani, maka akan diposisikan kembali menuju *depot*.



Gambar 4.11 Memposisikan kembali ke depot

4.3.5.2 Pengembangan Algoritma yang Dilakukan

Sesuai dengan gambaran permasalahan yang telah diuraikan, selanjutnya akan disusun dan dikembangkan algoritma untuk menampung setiap permasalahan dan solusi yang ada, agar dapat digunakan dan diaplikasikan dalam menangani bencana. Pada penelitian ini, digunakan dasar-dasar penentuan rute menggunakan *minimum spanning tree* dengan terlebih dahulu menitik beratkan pada lokasi-lokasi yang bersifat penting untuk segera dibuka atau dengan kata lain vital. Pada penentuan rute ini akan digunakan dua algoritma, dimana algoritma pertama akan menggunakan algoritma yang telah disusun oleh Pearn dan Wu (1995) di dalam jurnalnya yang berjudul *Algorithms For The Rural Postman Problem*, dengan sedikit penyesuaian terhadap studi kasus yang diangkat serta permasalahan yang dihadapi, sedangkan algoritma ke dua adalah algoritma yang disusun berdasarkan gambaran permasalahan sebelumnya.

Algoritma pertama diadaptasi dari penelitian Pearn dan Wu (1995) di dalam jurnalnya yang berjudul *Algorithms For The Rural Postman Problem*, dimana algoritma yang diadaptasi adalah *modified christofides et al. algorithm*. Pada algoritma ini, akan dibentuk *minimum spanning tree* kemudian berdasarkan tree yang terbentuk akan dilakukan penerjunan. Pada algoritma yang pertama ini ada beberapa penyesuaian dari algoritma dasar yang digunakan. Seperti pada jurnal *Algorithm For Rural Postman Problem*, pada dasarnya algoritma ini akan membentuk MST terlebih dahulu kemudian baru dilakukan *minimal cost matching*. Sedangkan penyesuaian yang akan dilakukan diantaranya adalah penanganan lokasi vital menggunakan alat berat yang *available* dengan waktu penanganan tercepat, penerjunan berdasarkan cabang yang memiliki total kerusakan terbesar namun penanganan menggunakan alat berat tercepat sebagai nilai dari *minimal cost matching*, alat berat dengan penanganan tercepat akan diterjunkan untuk *tree* terpilih, alat berat yg paling *available* dengan penanganan tercepat akan melihat *tree* yg belum tertangani selama waktu operasional masih tersedia, jika seluruh *tree* telah tertangani meski tidak keseluruhan, maka alat berat yg *available* tersebut akan diterjunkan untuk melakukan penanganan pada lokasi yg belum tertangani namun jalurnya telah terbuka. Mengingat bahwa kejadian bencana ini tidak dapat diprediksi, dan berdasarkan studi kasus yang diangkat terdapat dua hari kejadian bencana, maka setiap harinya MST akan mengalami pembaruan sesuai kejadian bencana yang terjadi, atau dengan kata lain akan terdapat tahap *updating* kejadian bencana, ketika dalam satu hari telah melampaui *time windows* sebesar 420 jam.

Jika melihat pada algoritma pertama tersebut, penyesuaian yang ada digunakan untuk membuat *modified christofides et al. algorithm* mampu beradaptasi terhadap permasalahan

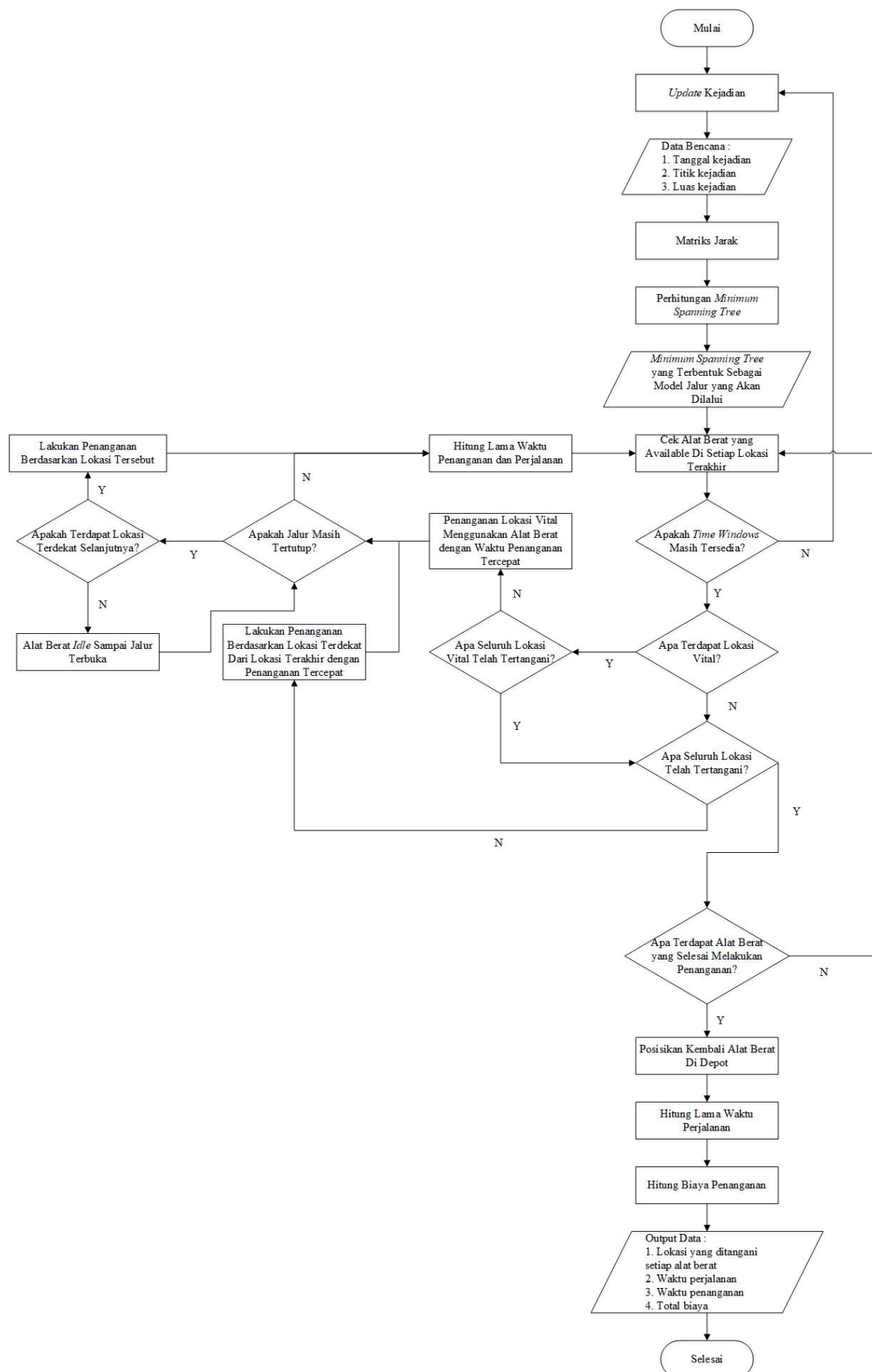
yang ada. *Update* kejadian yang digunakan karena bencana yang dihadapi tidak dapat terprediksi, penanganan terlebih dahulu terhadap jalan yang vital karena jalan tersebut memiliki tingkat kepentingan yang tinggi untuk segera dibuka, penggunaan alat berat yang *available* karena penanganan membutuhkan waktu yang lama sehingga alat berat yang *available* dapat mempercepat waktu penanganan tanpa harus menunggu alat berat yang lain, hingga penerjunan berdasarkan cabang yang memiliki total kerusakan terbesar namun penanganannya menggunakan alat berat tercepat karena hal ini untuk mendukung tahap *minimal cost matching* yang ada pada *modified christofides et al. algorithm*. Meski demikian, dibutuhkan tahapan yang lebih mudah dan dapat lebih adaptif ketika dihadapkan dengan permasalahan bencana longsor yang sifatnya sukar untuk diprediksi. Pada algoritma pertama tersebut, adanya *update* kejadian memang membuat *modified christofides et al. algorithm* lebih adaptif terhadap bencana yang dihadapi, namun hal ini akan memperbarui hasil dari tahap selanjutnya yakni *minimum spanning tree*. Sedangkan pada tahap *minimal cost matching*, hal ini akan membuat pemasangan lokasi-lokasi bencana dengan alat berat yang baru, walaupun tujuan dari tahap tersebut akan dapat menekan biaya-biaya yang ada. Oleh karena itu, dibuatlah algoritma ke dua yang tidak menggunakan tahap *minimal cost matching*, dimana penerjunannya hanya berdasarkan *minimum spanning tree* yang terbentuk sehingga penanganan menuju lokasi selanjutnya hanya berdasarkan lokasi yang terdekat dari lokasi terakhir.

Algoritma ke dua ini menggunakan algoritma yang disusun berdasarkan pendekatan yang sama, yakni *minimum spanning tree* namun dalam prosesnya akan menggunakan pendekatan sesuai studi kasus yang diangkat. Seperti yang dijelaskan, pada algoritma yang ke dua ini tidak akan menggunakan tahap *minimal cost matching* yang terdapat pada algoritma 1, atau tidak melakukan penerjunan berdasarkan cabang dengan lokasi bencana yang memiliki kerusakan terbesar, namun melihat jarak terdekat dari lokasi penanganan terakhir. Tahapan yang akan dilakukan akan mengacu pada skema yang telah dibuat pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.12 menunjukkan tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penerjunan alat berat. Pada skema tersebut terdapat beberapa tahapan, diantaranya proses *update* kejadian dimana dibutuhkan informasi terkait tanggal kejadian, titik kejadian serta luas kejadian, selanjutnya data-data tersebut akan digunakan untuk membuat matriks jarak yang nantinya akan dimanfaatkan ketika akan melakukan *minimum spanning tree*. *Minimum spanning tree* yang terbentuk akan dijadikan sebagai model jalur yang akan dilalui dalam proses melakukan penanganan, sehingga ketika terdapat lokasi yang belum tertangani namun terhalang oleh lokasi yang masih dilakukan penanganan, maka akan

muncul proses *idle* sampai lokasi yang menghalangi tersebut selesai dilakukan penanganan.

Jika dilihat pada skema tersebut, terdapat perbedaan antara lokasi bencana yang dianggap vital dengan lokasi bencana yang dianggap non vital, berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan pemisahan, lokasi mana saja yang dianggap vital dan lokasi mana saja yang dianggap non vital. Secara lebih rinci, berikut akan dijelaskan mengenai tahapan dari skema tersebut.

1. Memulai tahapan
2. Melakukan *update* terkait kejadian bencana yang terjadi
3. Memasukkan data berupa tanggal kejadian, titik kejadian serta luas kejadian
4. Menghitung matriks jarak berdasarkan data titik kejadian
5. Melakukan perhitungan *minimum spanning tree*
6. *Minimum spanning tree* yang terbentuk akan dijadikan sebagai model dari jalur yang akan dilalui ketika melakukan penanganan
7. Memeriksa alat berat apa saja yang tersedia di setiap lokasi terakhir alat berat berada.
8. Memeriksa apakah masih terdapat waktu operasional jika alat berat akan dilakukan penerjunan, jika tidak ada maka akan kembali ke tahap 2, jika masih ada maka akan berlanjut ke tahap 9
9. Memeriksa apakah terdapat lokasi vital, jika ada maka akan berlanjut ke tahap 10, jika tidak ada maka akan berlanjut ke tahap 17
10. Memastikan apakah seluruh lokasi vital telah terdapat alat berat yang menangani, jika tidak maka akan berlanjut ke tahap 11, jika seluruh lokasi vital telah ada yang menangani maka akan berlanjut ke tahap 17
11. Melakukan penerjunan berdasarkan alat berat dengan waktu penanganan tercepat
Memeriksa apakah jalur yang akan dilalui masih tertutup, jika masih tertutup maka akan berlanjut ke tahap 13, jika tidak maka akan berlanjut ke tahap 16
12. Memeriksa apakah terdapat lokasi terdekat lainnya, jika tidak maka akan berlanjut ke tahap 14, jika ada maka akan berlanjut ke tahap 15
13. Alat berat akan *idle* selama jalur yang akan dilalui tersebut telah terbuka, dan kembali ke tahap 12
14. Melakukan penanganan pada lokasi tersebut
15. Menghitung lama waktu perjalanan dan waktu penanganan, dan kembali ke tahap 7



Gambar 4.12 Skema penerjunan alat berat

16. Memeriksa apakah seluruh lokasi telah dilakukan penanganan, jika tidak maka akan berlanjut ke tahap 18, jika seluruh lokasi telah dilakukan penanganan maka akan berlanjut ke tahap 19
17. Melakukan penerjunan berdasarkan lokasi terdekat dari lokasi terakhir alat berat dengan waktu penanganan tercepat, kemudian berlanjut ke tahap 12
18. Memeriksa apakah terdapat alat berat yang telah selesai melakukan penanganan, jika tidak maka akan kembali pada tahap 7, jika ada maka akan berlanjut ke tahap 20
19. Memposisikan kembali alat berat untuk berada di depot
20. Melakukan perhitungan lama waktu perjalanan
21. Melakukan perhitungan biaya yang dikeluarkan selama proses penerjunan
22. Keluaran data yang digunakan adalah lokasi yang ditangani setiap alat berat, lama waktu perjalanan, lama waktu penanganan, serta total biaya
23. Tahapan selesai

Berdasarkan tahapan-tahapan yang telah dipaparkan di atas, dapat diketahui bahwa nantinya penentuan rute akan dilakukan berdasarkan *minimum spanning tree* yang terbentuk, dimana MST ini akan menghubungkan setiap lokasi bencana yang terjadi dengan panjang jalur yang paling minimal. Selain itu pada tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat jika skema tersebut tidak mengizinkan alat berat untuk melakukan kerja sama dengan alat berat yang lain ketika jalur yang akan dilalui masih tertutup namun sedang dilakukan penanganan oleh alat berat yang lain. Secara lebih rinci tahapan-tahapan di atas akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

4.3.5.3 Penentuan Lokasi Bencana Berdasarkan Kebutuhan Alat Berat

Lokasi bencana yang terjadi memiliki tipe-tipe tertentu dalam kebutuhannya untuk mengatasi bencana yang terjadi. Dimana pada penelitian ini akan dibagi kedalam dua jenis. Ada lokasi bencana yang hanya membutuhkan alat berat jenis *loader* maupun *motor grader*, sedangkan lokasi yang lain membutuhkan alat berat berjenis *excavator*. Pembagian lokasi bencana ini dilakukan karena kebutuhan penanganan antar lokasi bencana yang berbeda-beda.

Pada Tabel 4.8 ditunjukkan lokasi bencana dengan kebutuhan penanganan oleh alat berat berjenis *loader* dan *motor grader*. Sedangkan pada Tabel 4.9 merupakan lokasi-lokasi mana saja yang membutuhkan penanganan menggunakan alat berat berjenis *excavator*. Khusus untuk *excavator*, alat ini lebih banyak diperuntukkan pada lokasi-lokasi yang wilayahnya cukup curam ketika melakukan penanganan, sedangkan untuk alat berat

berjenis *loader* dan *motor grader* diperuntukkan pada lokasi-lokasi yang lebih landai. Pembagian lokasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan juga Tabel 4.9 akan digunakan dalam tahap penentuan rute dari setiap alat berat. Sehingga diawal penerjunan, lokasi-lokasi tersebut akan langsung dipisah berdasarkan pada kebutuhan penanganannya masing-masing.

Tabel 4.8

Lokasi Bencana dengan Kebutuhan Alat Berat *Loader* dan *Motor Grader*

ID Lokasi	Lokasi	Waktu Kejadian	ID Lokasi	Lokasi	Waktu Kejadian
2	Jalan Teleng Ria	28-Nov-17	15	Jalan Desa Glinggangan	29-Nov-17
3	Jalan Bangunsari - Ngadirejan	28-Nov-17	16	Jalan Sempu - Ngromo	29-Nov-17
4	Jalur Lintas Selatan	28-Nov-17	17	Arjowinangun	28-Nov-17
5	Krajan Lor Ploso	28-Nov-17	18	Jalan Pancer Door	28-Nov-17
6	Pasar Arjowinangun	28-Nov-17	19	Jl. Ki Ageng Petung	28-Nov-17
7	Jalan Tegalombo - Bandar	28-Nov-17	20	Ploso	28-Nov-17
8	Jalan Pucangombo - Kasihan	28-Nov-17	21	Ploso	28-Nov-17
9	Jalan Ngadirojo - Wonokarto	28-Nov-17	22	Desa Arjowinangun	28-Nov-17
10	Jalan Tulakan - Wonokarto	28-Nov-17	23	Jalan Mentoro - Gunungsari	28-Nov-17
11	Jalan Ngadirejan - Tamansari	28-Nov-17	24	Ploso	28-Nov-17
12	Jalan Mlati - Tinatar	28-Nov-17	34	Jalan Ketjo - Slahung	28-Nov-17
13	Jalan Hadiwarno - Wonodadiwetan	28-Nov-17	35	Jalan Desa Jetis	29-Nov-17
14	Jalan Dusun Kaliatas Desa Wiyoro	28-Nov-17			

Tabel 4.9

Lokasi Bencana dengan Kebutuhan Alat Berat *Excavator*

ID Lokasi	Lokasi	Waktu Kejadian	ID Lokasi	Lokasi	Waktu Kejadian
25	Jalan Kebonagung - Sidomulyo	28-Nov-17	30	Jalan Tinatar - Mlati	28-Nov-17
26	Jalan Teleng Ria	28-Nov-17	31	Jalan Jatimalang - Karanggede	29-Nov-17
27	Jalan Bubakan - Ngile	28-Nov-17	32	Jalan Arjosari - Gondosari	28-Nov-17
28	Desa Karanganyar	28-Nov-17	33	Jalan Pagerejo - Padi	28-Nov-17
29	Jalan Pentung - Jetak	28-Nov-17			

Pembagian ini tidak tercakup di dalam algoritma yang ada, sehingga pembagiannya dilakukan terlebih dahulu sebelum penerjunan menggunakan algoritma pertama maupun kedua dilakukan. Kemudian, terkait dengan waktu kejadian, kejadian pada tanggal 28 November 2017 akan digunakan sebagai kejadian pada hari pertama, sedangkan kejadian pada tanggal 29 November 2017 akan digunakan sebagai kejadian hari ke dua, dan karena yang dilakukan penelitian terbatas pada tanggal tersebut, maka hanya akan terdapat dua hari kejadian, tanpa adanya bencana susulan di hari berikutnya.

4.3.5.4 Penentuan Titik Vital

Berdasarkan pengumpulan data pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa ada lokasi bencana yang bersifat sebagai titik vital, sehingga penting untuk segera di buka. Titik ataupun lokasi vital ini Tabel 4.10 ini menunjukkan lokasi-lokasi tersebut.

Tabel 4.10
Lokasi Vital Bencana Longsor

ID Lokasi	Lokasi	Waktu Kejadian	Kerusakan (m ³)	Tipe Jalan	Kebutuhan Alat Berat
2	Jalan Teleng Ria	28-Nov-17	800	Vital	<i>Loader dan Motor grader</i>
26	Jalan Teleng Ria	28-Nov-17	30	Vital	<i>Excavator</i>

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa tipe jalan vital ini akan menunjukkan manakah jalan yang harus segera ditangani agar arus transportasi maupun bantuan dapat berjalan lancar. Penentuan jalan vital ini berada pada jalan tersebut karena pada jalan itu merupakan jalan yang digunakan sebagai jalur penghubung antara Kabupaten Pacitan dengan wilayah di Provinsi Jawa Tengah. Dimana salah satu jalur bantuan berasal dari Provinsi Jawa Tengah yang melalui jalan tersebut. Berdasarkan hal ini, maka dibutuhkan penanganan segera terhadap lokasi tersebut agar arus transportasi dapat berjalan lancar dan bantuan dapat masuk untuk terdistribusi.

Jika dilihat, lokasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 tersebut memang berada dalam lokasi yang sama, yakni di Jalan Teleng Ria. Namun kedua lokasi ini memiliki kebutuhan yang berbeda dalam penanganannya, untuk Jalan Teleng Ria dengan ID lokasi 2 dapat dilakukan penanganan dengan menggunakan alat berat jenis *loader* maupun *motor grader*, karena pada lokasi tersebut lokasi yang tertimpa longsor memiliki kondisi yang cukup landai. Namun untuk Jalan Teleng Ria dengan ID lokasi 26, hanya dapat dilakukan dengan menggunakan alat berat jenis *excavator*, karena beberapa badan ikut tergerus oleh longsor, sehingga menyebabkan lokasi tersebut menjadi curam ketika dilakukan penanganan. Selain itu pada lokasi 26 tersebut, karena sebagian badan jalan hilang maka dilakukan pemasangan *sandbag* oleh alat berat berjenis *excavator*.

4.3.5.5 Perhitungan Matriks Jarak

Dalam pembuatan matriks jarak ini, akan digunakan jarak simetris dimana hal ini sesuai dengan asumsi penelitian yang telah diuraikan pada Bab I sebelumnya, yakni jarak dari lokasi 1 menuju lokasi 2 sama dengan jarak lokasi 2 menuju lokasi 1, atau dengan kata lain jarak berangkat dan kembalinya adalah sama. Perhitungan matriks jarak ini akan menggunakan bantuan *add ins* pada *Microsoft Excel* yang disebut *Excel Gmaps V1 02*.

Tahapan secara lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 2 dan hasil keseluruhan dari matriks jarak yang diperoleh dapat dilihat pada Lampiran 3, namun secara sederhana berikut merupakan tahapan yang dilakukan.

1. Pembuatan *layout* matriks jarak pada *Microsoft Excel*
2. Penentuan koordinat setiap lokasi bencana, dengan menggunakan data yang telah diterima dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Pacitan, dimana data koordinat yang mulanya berjenis *geographic degree minutes second* diubah menjadi *degree decimal*
3. Kemudian untuk mengisi jarak antar lokasinya, menggunakan fungsi =G_DISTANCE(loc1,loc2)
4. Selanjutnya setiap lokasi akan memiliki jarak tersendiri untuk menuju lokasi yang lain

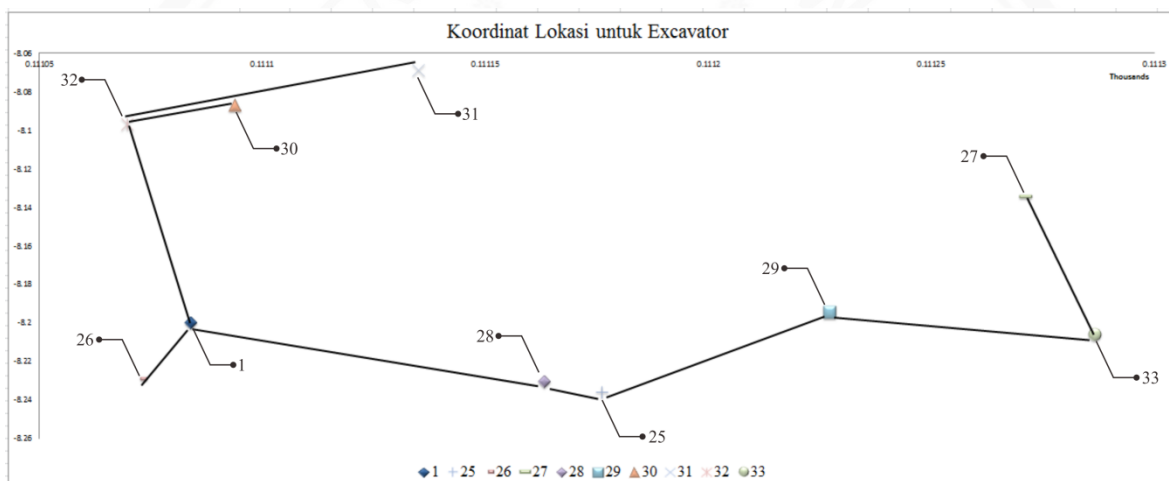
4.3.5.6 Perhitungan *Minimum Spanning Tree*

Minimum spanning tree digunakan sebagai model jalur yang akan dilalui oleh alat berat dalam melakukan penanganan. MST disini digunakan untuk membentuk jalur-jalur yang menghubungkan setiap lokasi bencana dengan panjang yang terpendek. Pada tahap ini kembali menggunakan bantuan *add ins* yang terdapat pada *Microsoft Excel*, *add ins* yang digunakan adalah *excel QM* v5.2. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan.

1. Pada *menu bar Excel QM* pilih menu *By Chapter*
2. Pilih *Chapter 7: Network Models*, kemudian pilih *Minimum Spanning Tree*
3. Isikan judul serta nama lembar kerja, serta tentukan ada berapa *branch* yang terdapat pada jaringan lokasi bencana. *Branch* ini merupakan percabangan yang ada pada jaringan yang akan dicari *minimum spanning tree*-nya. Jumlah *branch* ini ditentukan berdasarkan banyaknya nilai yang menghubungkan antar dua lokasi terkait yang terdapat pada matriks jarak yang telah dicari sebelumnya, atau dengan kata lain jumlah *branch* ini merupakan kombinasi dari lokasi-lokasi terkait dengan menggunakan dua lokasi berpasangan. Berdasarkan hal tersebut, lokasi bencana dengan alat berat *excavator* akan memiliki 45 *branches* (C_2^{10}), dimana terdapat sembilan lokasi bencana dan terdapat satu *depot* sehingga memiliki sepuluh lokasi dimana nantinya dari sepuluh lokasi tersebut akan diambil dua lokasi berpasangan tanpa memperhatikan urutannya sesuai dengan asumsi yang telah disebutkan di bab 1, sedangkan untuk lokasi bencana dengan alat berat selain *excavator* memiliki 325 *branches* (C_2^{26}), dimana terdapat dua puluh lima lokasi bencana dan terdapat satu *depot* sehingga memiliki dua

puluh enam lokasi yang nantinya juga akan diambil dua lokasi berpasangan. Hal ini menunjukkan bahwa, pada jaringan jalan untuk lokasi bencana dengan kebutuhan alat berat berupa *excavator* memiliki percabangan sebanyak 45 cabang, sedangkan untuk lokasi bencana dengan kebutuhan alat berat selain *excavator* memiliki percabangan sebanyak 325 cabang. Langkah selanjutnya pilihlah Ok.

4. Akan terbentuk lembar kerja dengan *layout* yang telah tersedia sesuai dengan informasi yang dimasukkan, dan selanjutnya isi setiap kolom berdasarkan matriks jarak yang telah dicari sebelumnya
5. Setelah seluruh kolom terisi, selanjutnya tekan tombol *solve*
6. Sistem akan melakukan komputasi untuk menentukan *minimum spanning tree* dari informasi dan data yang telah di-input-kan. Pada Gambar 4.4 menunjukkan *minimum spanning tree* yang terbentuk, setelah melakukan pengolahan dari hasil *Microsoft Excel* dan mengubahnya menjadi grafik



Gambar 4.13 *Minimum spanning tree* lokasi bencana untuk *excavator*

Pada Gambar 4.13 menunjukkan bagaimana *minimum spanning tree* yang terbentuk untuk lokasi bencana dengan kebutuhan alat berat berjenis *excavator*. Berdasarkan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa alat berat berjenis *excavator* memiliki sembilan titik atau lokasi bencana yang akan dilakukan penanganan olehnya, yakni lokasi dengan ID 25 hingga 33, serta satu lokasi *depot* yang berada pada titik 1. Dari Gambar 4.4 juga diketahui bahwa dari 45 *branches* yang ada, terbentuk 9 *branches* yang mampu menghubungkan seluruh titik dengan total jarak terpendek. Untuk mengetahui lebih jelas tahapan yang perlu dilakukan, dapat dilihat pada Lampiran 6. Sebagai penegas informasi, pengukuran jarak yang digunakan dalam pembuatan matriks jarak ini adalah *shortest path* seperti yang dijelaskan pada Bab II. Sehingga pada pembuatan *minimum spanning tree*-nya juga berdasarkan pengukuran jarak *shortest path* ini pula. Meski dalam Gambar 4.13, jarak antar titiknya

digambarkan hampir sama dengan jenis pengukuran *euclidean* ataupun *squared euclidean*, namun jarak yang digunakan tetap berasal dari pengukuran jarak *shortest path*. Penggambaran seperti pada Gambar 4.13 dilakukan agar lebih memudahkan dalam pembuatan maupun pembacaan *minimum spanning tree*-nya. Dan hal ini berlaku untuk seluruh *minimum spanning tree* yang akan dibahas di dalam penelitian ini.

4.3.5.7 Penentuan Urutan Rute Penanganan

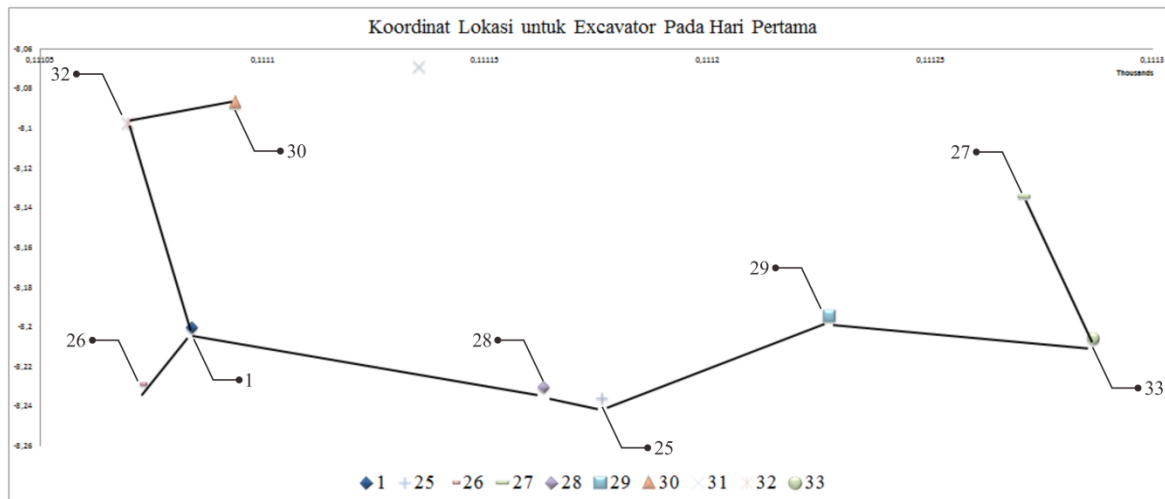
Penentuan urutan rute penanganan ini akan menggunakan dua algoritma yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada algoritma pertama menggunakan algoritma yang dibuat oleh Pearn dan Wu, sedangkan algoritma ke dua akan menggunakan algoritma yang dibuat dengan pendekatan MST namun yang diperhatikan adalah jarak terdekat dari lokasi terakhir. Untuk skenario ke dua dapat dilakukan dengan mengikuti skema pada Gambar 4.12. Secara garis besar, kedua algoritma tersebut akan mengutamakan lokasi-lokasi yang bersifat vital untuk segera ditangani terlebih dahulu. Selanjutnya penanganan dilakukan berdasarkan *tree* dengan *node* (lokasi bencana) yang memiliki bobot terbesar akan ditangani oleh alat berat yang *available* dengan kecepatan penanganan tercepat untuk algoritma pertama, sedangkan untuk algoritma ke dua adalah jarak terpendek dari lokasi terakhir dari setiap alat berat. Berdasarkan kedua algoritma tersebut, berikut akan ditunjukkan hasil dari penentuan rute dari setiap algoritma.

4.3.5.7.1 Algoritma 1

Berdasarkan algoritma yang dibuat oleh Pearn dan Wu, maka dapat tersusun urutan rute penanganan yang dilakukan oleh setiap alat berat. Setelah didapatkan *minimum spanning tree* dari lokasi-lokasi bencana, selanjutnya dapat dilakukan penerjunan berdasarkan algoritma yang ada. Untuk langkah-langkah penerjunan alat berat terhadap lokasi bencana dengan kebutuhan penanganan menggunakan *excavator*, berikut merupakan langkah-langkahnya.

1. Pada hari pertama, sesuai Tabel 4.9 terjadi bencana pada lokasi 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32 dan 33 dan pada hari selanjutnya lokasi bencana bertambah di lokasi 31. Berdasarkan hal tersebut, *minimum spanning tree* yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.14.
2. Berdasarkan data yang dikumpulkan sebelumnya, pada Tabel 4.10 diketahui bahwa untuk lokasi bencana dengan kebutuhan penanganan menggunakan *excavator* memiliki lokasi vital yang berada di lokasi 26. Oleh karena itu, penanganan akan

dilakukan terlebih dahulu untuk lokasi tersebut dengan menggunakan alat berat *excavator* yang memiliki kapasitas terbesar, yakni dengan *excavator* Komatsu PC 200-6. Waktu tempuh yang dibutuhkan selama 8,143 menit dan lama penanganan selama 47 menit. Untuk mengetahui waktu tempuh antar lokasi dapat dilihat pada Lampiran 4, sedangkan lama penanganan untuk setiap lokasi yang dilakukan setiap alat berat dapat dilihat pada Lampiran 5.

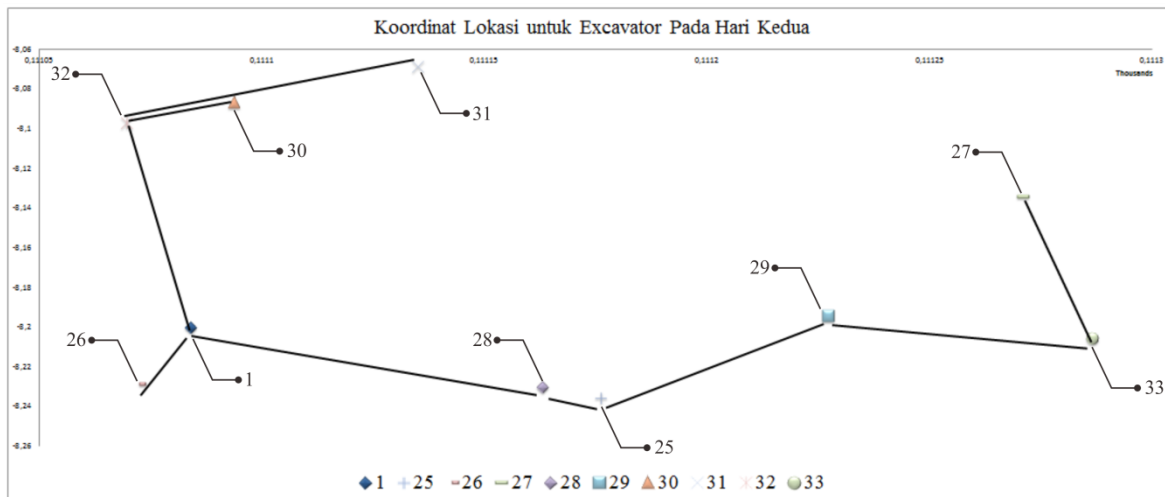


Gambar 4.14 MST hari pertama untuk *excavator*

3. Alat berat yang tersedia setelah *excavator* Komatsu PC 200-6 diterjunkan untuk lokasi 26 adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Dimana jika melihat Gambar 4.14, selain cabang untuk lokasi 26 yang ada pada hari pertama, terdapat 2 cabang lainnya yakni cabang yang menghubungkan lokasi 32 dan 30, serta cabang yang menghubungkan lokasi 28, 25, 29, 33 dan 27. Jika melihat lamanya waktu penanganan serta *time windows* selama satu hari kerja, yakni 420 menit, maka alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) akan diterjunkan menuju lokasi 32, dengan waktu perjalanan dari depot selama 29,835 menit dan lama waktu penanganan selama 12.500 menit.
4. *Excavator* Komatsu PC 200-6 yang telah selesai menangani lokasi 26, hanya memiliki sebuah percabangan yang belum dilakukan penanganan, yakni cabang yang menghubungkan lokasi 28, 25, 29, 33 dan 27. Hal ini terjadi karena cabang yang menghubungkan lokasi 32 dan 30 masih tertutup dan sedang dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). *Excavator* Komatsu PC 200-6, diterjunkan untuk menangi lokasi 28 dan 25 pada hari pertama, karena terbentur dengan waktu operasional selama satu hari. Dari lokasi 26, lokasi 28 ditempuh dalam waktu 27,508 menit dan membutuhkan penanganan selama 235 menit. Kemudian dari

lokasi 28, lokasi 25 ditempuh dalam waktu 3,087 menit dan lama penanganannya 157 menit.

5. *Updating* bencana dilakukan untuk memetakan kembali lokasi-lokasi bencana dan agar mengetahui apakah terdapat kejadian bencana susulan atau tidak. Pada hari ke dua, MST mengalami perubahan, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.15. Pada hari ke dua, lokasi 31 yang sebelumnya tidak terjadi bencana mengalami bencana longsor pada hari tersebut.



Gambar 4.15 MST hari kedua untuk excavator

6. Pada hari ke dua, alat berat yang tersedia terlebih dahulu adalah alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6, yang telah selesai menangani lokasi 28. Selanjutnya, karena lokasi 32 masih tertutup, lokasi yang dilakukan penanganan selanjutnya adalah lokasi 29, 33, dan 27. Namun karena terbatas waktu operasional, yang dikerjakan adalah lokasi 29 saja. Hal yang sama juga dilakukan pada hari ke tiga hingga hari ke lima. Pada hari ke tiga, alat berat ini menangani lokasi 33 yang memiliki waktu tempuh selama 20,518 menit dari lokasi 29 dan membutuhkan lama penanganan selama 625 menit. Hal ini membuatnya harus melakukan penanganan hingga memasuki hari ke lima. Pada hari ke lima, *excavator* Komatsu PC 200-6 melakukan penanganan untuk lokasi 27 selama 125 menit dan dengan waktu tempuh selama 22,097 menit dari lokasi 33. Setelah penanganan pada lokasi 27, alat berat tersebut harus *idle* selama 10.557 menit, karena lokasi 30 dan 31 yang belum dilakukan penanganan, namun jalur yang menghubungkan ke wilayah tersebut masih tertutup dan masih dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), yakni lokasi 32.
7. *Minimum spanning tree* tidak mengalami perubahan, karena tidak ada bencana susulan selanjutnya.

8. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) melakukan penanganan hingga hari ke tiga puluh, dan pada hari tersebut pula berarti terdapat dua alat berat yang tersedia, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6, dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Terdapat dua lokasi yang belum dilakukan penanganan, yakni lokasi 30 dan 31. Dengan menggunakan *minimal cost matching*, dipilihlah alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 untuk menangani lokasi 30 yang membutuhkan waktu penanganan selama 4.219 menit, sedangkan jika ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 maka membutuhkan waktu penanganan selama 8.438 menit. Untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) sendiri, diterjunkan untuk menangani lokasi 31 yang membutuhkan lama penanganan selama 3.750 menit. Penerjunan ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 diterjunkan hingga hari ke empat puluh satu sebelum kembali menuju depot. Sedangkan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) diterjunkan hingga hari ke tiga puluh sembilan sebelum kembali menuju depot pula.
9. Langkah selanjutnya adalah melakukan iterasi. Dimana jika dilihat dari penerjunan yang telah dilakukan sebelumnya (iterasi pertama) memberikan hasil yang sebenarnya dapat lebih dioptimalkan, karena *excavator* Komatsu PC 200-6 yang mengalami *idle* yang lama karena menunggu lokasi 32 selesai dibuka oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)
10. Pada iterasi ke dua ini, *minimum spanning tree* yang digunakan sama seperti pada iterasi pertama. Pada tahap penerjunan di hari pertama, lokasi 26 yang merupakan lokasi vital, dilakukan penanganan oleh alat berat dengan kapasitas terbesar, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6.
11. Mengingat pada iterasi pertama yang membuat kurang optimal adalah alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang menangani lokasi 32, maka pada iterasi ke dua ini, alat berat tersebut dialihkan untuk menangani pada percabangan yang lain, yakni cabang yang menghubungkan lokasi 28, 25, 29, 33, dan 27. Pada hari pertama alat berat ini hanya diterjunkan untuk menangani lokasi 28, yang membutuhkan lama penanganan selama 469 menit dan waktu tempuh dari depot selama 19,365 menit. Sedangkan *excavator* Komatsu PC 200-6, pada hari pertama setelah menangani lokasi 26, alat berat tersebut diterjunkan menuju lokasi 32 yang membutuhkan waktu penanganan selama 6.250 menit, dan waktu tempuh selama 37,978 menit dari lokasi 26. Hal ini membuat lokasi 32 akan selesai ditangani ketika hari ke enam belas.
12. Pada hari ke dua, seperti pada iterasi pertama terjadi perubahan *minimum spanning tree*, karena lokasi 31 yang baru mengalami bencana.

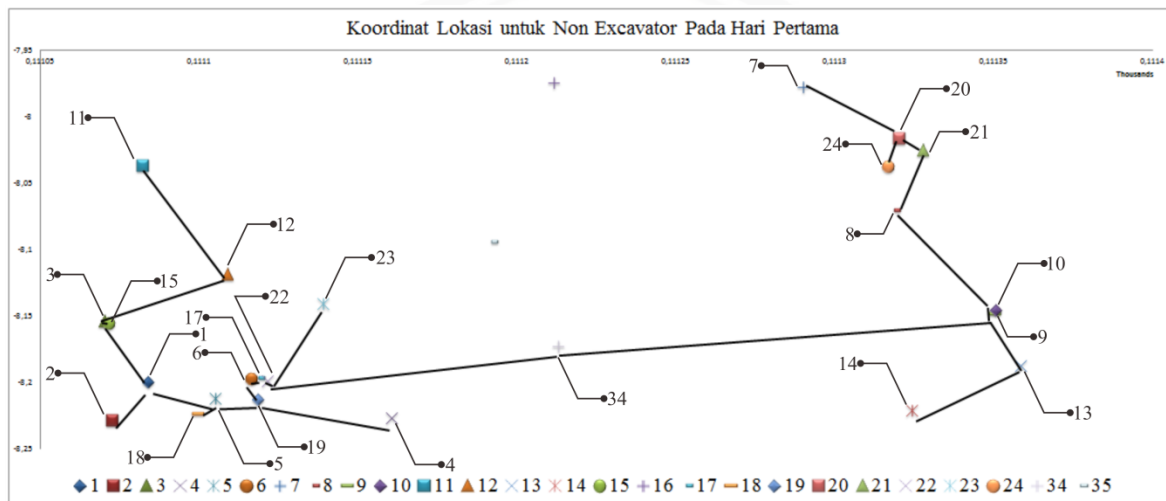
13. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) menjadi alat berat yang tersedia di hari ke dua. Alat berat ini berlanjut melakukan penanganan pada lokasi 25 dan 29, karena pada cabang yang lain masih tertutup bencana dan sedang dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6. Lokasi 25 dan 29 selesai ditangani pada hari ke lima, dan pada hari ke lima berlanjut ke lokasi 33 yang membutuhkan waktu penanganan selama 1.250 menit, yang membuat alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) baru tersedia di hari ke delapan. Pada hari ke delapan, alat berat ini menangani lokasi 27 selama 250 menit, yang membuatnya bekerja hingga hari ke sembilan untuk menyelesaikan penanganan pada lokasi 27. Setelah penanganan di lokasi 27, alat berat ini mengalami *idle* selama 2.718,660 menit, karena lokasi yang belum tertangani yakni lokasi 30 dan 31, jalurnya masih tertutup di lokasi 32 yang baru bisa dilalui di hari ke enam belas.
14. Pada hari ke enam belas, terdapat dua alat berat yang tersedia, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6 dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) serta dua lokasi yang belum tertangani, yakni lokasi 30 dan 31. *Excavator* Komatsu PC 200-6 membutuhkan lama waktu penanganan selama 4.219 menit untuk lokasi 30 dan 1.875 menit untuk lokasi 31. Sedangkan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) membutuhkan lama waktu penanganan selama 8.438 menit untuk lokasi 30 dan 3.750 menit untuk lokasi 31. Berdasarkan *minimal cost matching*, maka akan lebih menguntungkan jika *excavator* Komatsu PC 200-6 menangani lokasi 30 dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) menangani lokasi 31.
15. Tidak adanya bencana susulan membuat kedua alat berat tersebut kembali menuju *depot* ketika penanganan pada lokasi terakhir masing-masing telah selesai dilakukan. *Excavator* Komatsu PC 200-6 kembali menuju *depot* pada hari ke 26, dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) kembali menuju *depot* pada hari ke 25.

Setelah melakukan langkah-langkah algoritma pertama untuk melakukan penerjunan alat berat *excavator*, selanjutnya dilakukan langkah-langkah algoritma pertama untuk melakukan penerjunan alat berat selain *excavator*. Berikut langkah-langkah penerjunan alat berat terhadap lokasi bencana dengan kebutuhan penanganan menggunakan non-*excavator*.

1. Pada hari pertama, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, lokasi-lokasi bencana yang membutuhkan penanganan menggunakan alat berat berjenis *loader* dan *grader* terjadi pada selain lokasi 15, 16 dan 35. Sehingga, berdasarkan lokasi kejadian bencana tersebut, *minimum spanning tree* yang terbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Jika dilihat dari *depot*, terdapat tiga cabang, yakni cabang dari

depot menuju lokasi 2, cabang dari depot menuju lokasi 3, serta cabang dari depot menuju lokasi 5.

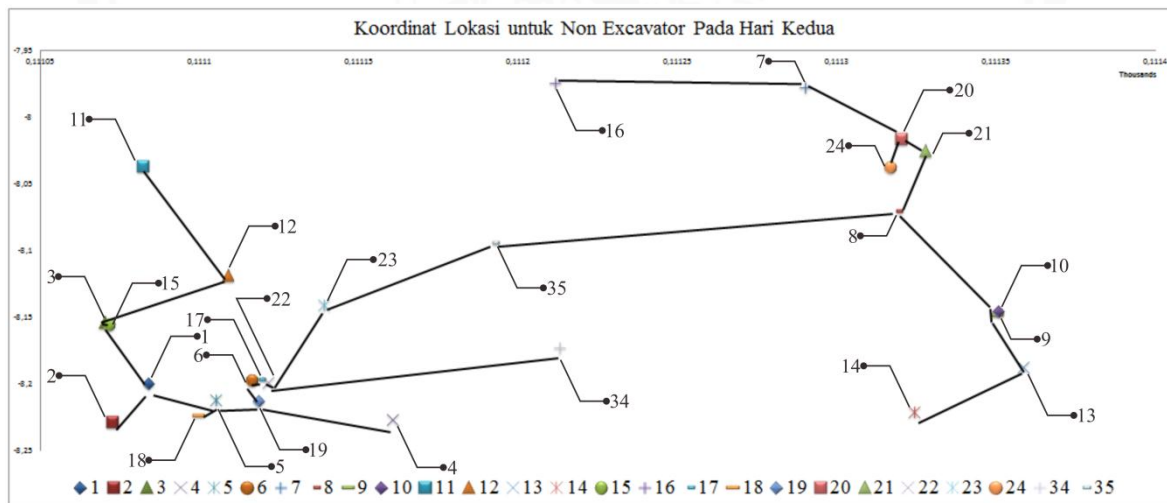
2. Lokasi 2 yang merupakan lokasi vital akan dilakukan penanganan oleh alat berat yang tersedia dengan kapasitas terbesar, yakni *wheel loader* Komatsu WA 200-5, yang membutuhkan waktu penanganan selama 445 menit, seperti yang ditunjukkan pada Lampiran 5 dan waktu tempuh dari depot selama 8,143 menit, seperti yang ditunjukkan pada Lampiran 4. Hal ini membuat alat berat tersebut akan menangani lokasi 2 hingga masuk hari ke dua, karena *time windows* yang tersedia hanya 420 menit.



Gambar 4.16 MST hari pertama untuk non-excavator

3. Melihat dua cabang yang tersisa dari depot, dan tiga alat berat yang masih tersedia, selanjutnya akan dilakukan *minimal cost matching* untuk menerjunkan alat berat yang ada dengan biaya terkecil dan dengan mempertimbangkan *time windows* yang ada. Biaya terkecil ini dapat diindikasikan dengan waktu penanganan yang lebih cepat. Lokasi 3 membutuhkan waktu penanganan selama 1.112 menit jika ditangani *wheel loader* Komatsu WA 180-1, 10.000 menit jika ditangani oleh *motor grader* Komatsu MG 3H, dan 1.539 menit jika ditangani *backhoe loader* Holland B 90B. Lokasi 5 membutuhkan waktu penanganan selama 24 menit jika ditangani *wheel loader* Komatsu WA 180-1, 210 menit jika ditangani oleh *motor grader* Komatsu MG 3H, dan 33 menit jika ditangani *backhoe loader* Holland B 90B. Karena lokasi 5 masih hanya membutuhkan waktu penanganan dibawah 420 menit, maka akan dikombinasikan dengan lokasi bencana pada percabangan selanjutnya, yakni lokasi 5 dengan lokasi 18, lokasi 5 dengan lokasi 19 dan 4, serta lokasi 5 dengan lokasi 19, 6 dan 17. Untuk kombinasi lokasi 5 dan 18 membutuhkan waktu penanganan selama 469 menit jika ditangani *wheel loader* Komatsu WA 180-1, 4.210 menit jika ditangani

oleh *motor grader* Komatsu MG 3H, dan 649 menit jika ditangani *backhoe loader* Holland B 90B. Untuk kombinasi lokasi 5, 19 dan 4 membutuhkan waktu penanganan selama 213 menit jika ditangani *wheel loader* Komatsu WA 180-1, 1.910 menit jika ditangani oleh *motor grader* Komatsu MG 3H, dan 296 menit jika ditangani *backhoe loader* Holland B 90B. Sedangkan untuk kombinasi lokasi 5, 19, 6 dan 17 membutuhkan waktu penanganan selama 658 menit jika ditangani *wheel loader* Komatsu WA 180-1, 5.910 menit jika ditangani oleh *motor grader* Komatsu MG 3H, dan 912 menit jika ditangani *backhoe loader* Holland B 90B. Berdasarkan hal tersebut, maka lokasi 3 akan ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1, lokasi 5 dan 18 akan ditangani oleh *motor grader* MG 3H, dan lokasi 5, 19, 6 dan 17 akan ditangani oleh *backhoe loader* Holland B 90B, sedangkan kombinasi lokasi 5, 19 dan 4 tidak terpilih, karena lokasi 5 dan 19 telah masuk ke rencana penanganan oleh *backhoe loader* Holland B 90B, dan lokasi 4 akan menunggu hingga terdapat alat berat yang *available* selanjutnya. Berdasarkan rencana penerjunan tersebut membuat *wheel loader* Komatsu WA 180-1 akan tersedia pada hari ke tiga, *motor grader* MG 3H akan tersedia pada hari ke sepuluh, dan *backhoe loader* Holland B 90B akan tersedia pada hari ke tiga.



Gambar 4.17 MST hari kedua untuk non-excavator

4. Masuk pada hari ke dua, langkah selanjutnya adalah melakukan *updating* terkait bencana yang terjadi. Berdasarkan pembaruan data ini, diketahui bahwa terdapat tiga lokasi bencana baru, yakni lokasi 15, 16 dan 35 yang membuat *minimum spanning tree* mengalami perubahan. MST pada hari ke dua, untuk lokasi bencana dengan kebutuhan alat berat non-excavator ini dapat dilihat pada Gambar 4.17.
5. Pada hari ke dua ini alat berat yang tersedia adalah *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan lokasi yang belum tertangani dan yang mampu dilalui adalah lokasi 4, oleh karena

itu, meski dengan atau tanpa *minimal cost matching*, lokasi 4 akan terpilih sebagai lokasi bencana yang selanjutnya akan ditangani oleh alat berat ini. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 melakukan penanganan selama 50 menit dan dengan waktu tempuh 28,572 menit dari lokasi 2. Hal ini nantinya akan membuat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan mengalami *idle* sampai terdapat lokasi yang belum tertangani namun jalurnya terbuka.

6. Pada hari ke tiga, langkahnya sama seperti yang telah dilakukan sebelumnya, yakni memperbarui data kejadian bencana, memperbarui MST dan melakukan penerjunan alat berat yang tersedia berdasarkan *minimal cost matching*. Alat berat yang pertama tersedia di hari ke tiga adalah *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan *backhoe loader* Holland B 90B. Terdapat pula dua cabang yang dapat dilalui, yakni cabang 22, 23 dan 35, serta cabang 22 dan 34. Waktu penanganan untuk kombinasi lokasi 22, 23 dan 35 adalah 491 menit jika menggunakan *wheel loader* Komatsu WA 200-5, sedangkan 678 menit jika menggunakan *backhoe loader* Holland B 90B. Waktu penanganan untuk kombinasi lokasi 22 dan 34 adalah 379 menit jika menggunakan *wheel loader* Komatsu WA 200-5, sedangkan 524 menit jika menggunakan *backhoe loader* Holland B 90B. Berdasarkan hal ini, maka lokasi 22, 23 dan 35 akan ditangani *wheel loader* Komatsu WA 200-5, sedangkan lokasi 34 akan ditangani *backhoe loader* Holland B 90B. Selanjutnya terdapat alat berat yang kembali *available* pada hari ke tiga ini, yakni *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Terdapat dua cabang yang dapat dilakukan penanganan, cabang lokasi 12 serta cabang lokasi 15. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1, jika menangani lokasi 12 membutuhkan waktu selama 1.556 menit, sedangkan jika lokasi 15 hanya membutuhkan 54 menit. Berdasarkan *minimal cost matching*, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 lebih baik diterjunkan menuju lokasi 12, karena jika nantinya lokasi tersebut ditangani oleh alat berat yang lain, maka akan membutuhkan waktu yang lebih lama, sedangkan lokasi 15 jika dilakukan penanganan oleh alat berat yang lain, waktu penanganannya relative tidak memakan banyak waktu. Berdasarkan hal tersebut, maka *wheel loader* Komatsu WA 180-1 akan kembali tersedia pada hari ke tujuh. *Backhoe loader* Holland B 90B yang hanya menangani lokasi 34 kembali tersedia pada hari itu, dan hanya terdapat satu lokasi yang mampu ditangani, yakni lokasi 15. Sehingga dengan atau tanpa adanya *minimal cost matching*, maka lokasi 15 akan ditangani oleh *backhoe loader* Holland B 90B, dan selanjutnya alat akan tersedia pada hari ke empat.

7. Pada hari ke empat tidak terjadi bencana susulan, sehingga MST tidak mengalami perubahan. Pada hari ke empat ini, alat berat yang tersedia ada dua alat berat, yakni *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan *backhoe loader* Holland B 90B, selain itu juga terdapat dua cabang yang dapat dilalui, yakni cabang lokasi 8 dengan 10 serta cabang lokasi 8 dengan 21. Lokasi 8 dan 10 jika menggunakan alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 membutuhkan waktu penanganan selama 612 menit, sedangkan jika menggunakan *backhoe loader* Holland B 90B membutuhkan waktu 847 menit. Lokasi 8 dan 21 jika menggunakan alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 membutuhkan waktu penanganan selama 217 menit, sedangkan jika menggunakan *backhoe loader* Holland B 90B membutuhkan waktu 301 menit. Dengan *minimal cost matching* lokasi 8 dan 10 akan ditangani *wheel loader* Komatsu WA 200-5, sedangkan lokasi 21 akan ditangani oleh *backhoe loader* Holland B 90B. Karena lokasi 21 dapat dijangkau jika lokasi 8 selesai tertangani, maka *backhoe loader* Holland B 90B akan *idle* terlebih dahulu sebelum menangani lokasi 21.
8. Pada hari ke lima, alat berat yang tersedia hanya *backhoe loader* Holland B 90B. Lokasi bencana yang belum tertangani dan dapat dilalui terdapat dua cabang, yakni cabang lokasi 20 dengan 24 dan cabang lokasi 20 dan 7. Cabang lokasi 20 dan 24 membutuhkan waktu penanganan selama 201 menit, sedangkan cabang lokasi 20 dengan 7 membutuhkan waktu penanganan selama 809 menit. Berdasarkan *minimal cost matching*, maka cabang lokasi 20 dengan 7 yang terpilih. Hal ini membuat *backhoe loader* Holland B 90B akan kembali tersedia pada hari ke tujuh.
9. Pada hari ke enam tidak terjadi perubahan MST seperti hari sebelumnya. Alat berat yang tersedia adalah *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan terdapat dua cabang yang dapat dilalui, yakni cabang lokasi 9 dan 13 serta cabang lokasi 24. Cabang lokasi 9 dan 13 membutuhkan waktu penanganan selama 557 menit, sedangkan cabang lokasi 24 membutuhkan waktu penanganan selama 6 menit. Berdasarkan *minimal cost matching*, maka akan lebih menguntungkan jika *wheel loader* Komatsu WA 200-5 menangani cabang lokasi 9 dan 13, karena jika cabang lokasi tersebut ditangani oleh alat berat yang lain akan semakin lama, sedangkan jika lokasi 24 ditangani oleh alat berat yang lain, tidak membutuhkan waktu penanganan yang relative lama.
10. Pada hari ke tujuh, kembali tidak terjadi bencana susulan. Alat berat yang tersedia pertama adalah *backhoe loader* Holland B 90B, dimana terdapat dua pilihan cabang penanganan, yakni lokasi 16 dan juga lokasi 24. Lokasi 16 membutuhkan penanganan selama 231 menit, lokasi 24 membutuhkan penanganan selama 8 menit. Seperti pada

penjelasan sebelumnya, maka *backhoe loader* Holland B 90B akan diterjunkan terlebih dahulu ke lokasi 16, yang membuatnya kembali tersedia pada hari ke delapan. Alat berat yang tersedia selanjutnya adalah *wheel loader* Komatsu WA 180-1, dimana terdapat dua pilihan cabang, yakni lokasi 11 dan juga lokasi 24. Lokasi 11 membutuhkan waktu penanganan selama 334 menit, sedangkan lokasi 24 membutuhkan waktu penanganan selama 6 menit. Seperti sebelumnya, maka lokasi 11 yang terpilih, dan membuat *wheel loader* Komatsu WA 180-1 akan kembali tersedia pada hari ke delapan. Alat berat yang tersedia selanjutnya adalah *wheel loader* Komatsu WA 200-5, dan terdapat dua pilihan cabang juga, yakni lokasi 14 dan 24. Lokasi 14 membutuhkan penanganan selama 84 menit, sedangkan lokasi 24 selama 6 menit. Sama seperti sebelumnya, maka dipilih lokasi 14 untuk ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5. Hal ini membuat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan kembali tersedia pada hari ke delapan.

11. Pada hari ke delapan, tidak terdapat perubahan pada MST. Alat berat yang tersedia paling awal adalah *backhoe loader* Holland B 90B dan lokasi yang belum tertangani adalah lokasi 24, sehingga dengan atau tanpa *minimal cost matching* alat berat tersebut akan menangani lokasi 24 dengan lama waktu penanganan selama 8 menit. Sampai hari ke delapan ini, seluruh lokasi telah terdapat alat berat yang menangani. Sehingga setelah setiap alat berat yang diterjunkan selesai melakukan penanganan, maka alat berat akan diposisikan kembali menuju *depot*. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 dan *backhoe loader* Holland B 90B kembali menuju *depot* pada hari ke delapan. Sedangkan *motor grader* Komatsu MG 3H akan kembali menuju *depot* setelah selesai menangani lokasi 18, yakni pada hari ke sepuluh.

Berdasarkan langkah-langkah yang telah diuraikan diatas, berikut merupakan urutan penanganan yang dilakukan oleh setiap alat berat dengan menggunakan algoritma 1. Sedangkan untuk melihat penerjunannya secara lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 29.

1. *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H

Dengan menggunakan algoritma pertama, pada Tabel 4.11 menunjukkan lokasi yang dilakukan penanganan oleh *motor grader* Mitsubishi MG 3H, dimana hanya lokasi bencana dengan ID lokasi 18. Meski demikian, *motor grader* Mitsubishi MG 3H harus menunggu selama 39.106 menit sebelum diterjunkan untuk menangani lokasi 18, hal ini disebabkan karena lokasi 5 yang masih tertimbun longsor dan sedang dilakukan penanganan. Dengan melihat Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 dapat diketahui jika dengan menggunakan algoritma 1 ini, *motor grader* Mitsubishi MG 3H membutuhkan waktu

hingga hari ke sepuluh untuk dapat menangani lokasi 18 ditambah dengan menunggu lokasi 5 dapat untuk dilalui. Jika melihat Tabel 4.12, dan mengacu kepada konsep dari MST, yakni tidak memperdulikan kembalinya *vehicle* menuju *depot*, maka alat berat ini menangani lokasi 18 hingga memasuki hari ke sepuluh hingga menit ke 270,481. Namun kembali menuju penjelasan pada gambaran permasalahan sebelumnya, jika seluruh lokasi bencana telah ada yang menangani maka alat berat akan dialihkan menuju *depot* kembali.

Tabel 4.11

Rute *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 1

Rute	1	18	1
Waktu Tempuh (menit)	11,374	11,374	
Waktu Penanganan (menit)		4.000	
Waktu Idle (menit)		39,106	
ID Idle		5	

Tabel 4.12

Penerjunan *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 1

Hari ke	1	2	3	4	5
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	4.050,481	3.630,481	3.210,481	2.790,481	2.370,481
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.630,481	-3.210,481	-2.790,481	-2.370,481	-1.950,481
Hari ke	6	7	8	9	10
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.950,481	1.530,481	1.110,481	690,481	281,855
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.530,481	-1.110,481	-690,481	-270,481	138,145

2. *Backhoe loader* Holland B 90B

Tabel 4.13 menunjukkan lokasi yang dilakukan penanganan oleh *backhoe loader* Holland B 90B berdasarkan algoritma pertama, terdiri dari sebelas lokasi bencana, dimana dalam proses penerjunannya, alat berat ini mengalami dua kali proses *idle*, dimana yang pertama ketika dari lokasi 34 menuju lokasi 15 dan yang kedua adalah

ketika dari lokasi 15 hendak menuju lokasi 21. Berdasarkan Tabel 4.13 dan Tabel 4.14, lokasi 5, 19, 6 dan 17 ditangani pada hari pertama hingga hari ke tiga, lokasi 34 dan 15 dimulai pada hari ke tiga hingga hari ke empat, lokasi 21 mulai di hari ke empat hingga hari ke lima, lokasi 20 dan 7 hingga hari ke tujuh, lokasi 16 hingga hari ke delapan dan lokasi 24 ditangani dan selesai pada hari ke delapan pula.

Tabel 4.13

Rute *Backhoe Loader* Holland B 90B Algoritma 1

Rute	1	5	19	6	17	34	15
Waktu Tempuh (menit)	6,106	3,790	4,735	0,643	25,898	59,858	130,03
Waktu Penanganan (menit)		33	193	70	616	154	74
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	0	21,919
ID Idle							3
Rute	21	20	7	16	24	1	
Waktu Tempuh (menit)	4,476	7,319	28,107	47,001	122,167		
Waktu Penanganan (menit)	70	193	616	231	8		
Waktu Idle (menit)	410,499	0	0	0	0		
ID Idle	8						

Tabel 4.14

Penerjuran *Backhoe Loader* Holland B 90B Algoritma 1

Hari ke	1	2	3	4
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	927,274	507,274	422,949	613,479
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-507,274	-87,274	-2,949	-193,479
Hari ke	5	6	7	8
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.014,274	594,274	433,381	190,549
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-594,274	-174,274	-13,381	229,451

3. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Berdasarkan algoritma 1, sesuai Tabel 4.15 *wheel loader* Komatsu WA 200-5 melakukan penanganan untuk sepuluh lokasi. Pada Tabel 4.15, Dimana pada proses penerjunannya terdapat dua kali proses *idle*, dimana *idle* pertama selama 308,285 menit terjadi karena pada saat penerjunan, lokasi-lokasi yang belum tertangani jalurnya masih terdampak bencana, dimana lokasi tersebut adalah lokasi 5 dan lokasi 19. Lokasi tersebut sedang dilakukan penanganan oleh alat berat *backhoe loader* Holland B 90B. Sedangkan *idle* kedua terjadi selama 87,274 menit karena ketika alat berat dari lokasi 4 menuju lokasi 22, jalurnya tertutup di lokasi 17. Dimana lokasi 17 tersebut sedang dilakukan penanganan oleh alat berat yang sama seperti pada lokasi 5 dan 19, yakni *backhoe loader* Hollan B 90B.

Tabel 4.15

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 1

Rute	1	2	4	22	23	35
Waktu Tempuh (menit)	8,143	28,572	16,877	14,038	21,418	35,841
Waktu Penanganan (menit)		445	50	45	112	334
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	308,285	87,274	0	0
ID <i>Idle</i>			5, 19	17		
Rute	8	10	9	13	14	1
Waktu Tempuh (menit)	24,562	1,140	21,372	10,903	145,515	
Waktu Penanganan (menit)	167	445	223	334	84	
Waktu <i>Idle</i> (menit)	0	0	0	0	0	
ID <i>Idle</i>						

Berdasarkan hal ini tentu saja penanganan akan terhambat. Hal ini pula menjadikan rentang waktu penerjunan alat berat menjadi semakin panjang. Jika dilihat berdasarkan Tabel 4.15 dan tabel 4.16, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 memulai penanganan untuk lokasi 2 yang merupakan lokasi vital pada hari pertama hingga memasuki hari ke dua, selanjutnya penanganan dilakukan untuk lokasi 4 pada hari ke dua hingga hari ke tiga, lokasi 22, 23 dan 35 ditangani pada hari ke tiga hingga hari keempat, lokasi 8 dan 10 ditangani pada hari ke empat hingga hari ke enam, lokasi 9 dan 13 ditangani

pada hari ke enam hingga hari ke tujuh, dan lokasi 14 ditangani hingga hari ke delapan sebelum akhirnya kembali menuju depot.

Tabel 4.16

Penerjunan *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 1

Hari ke	1	2	3	4
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	453,143	420,000	630,608	883,011
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-33,143	0,000	-210,608	-463,011
Hari ke	5	6	7	8
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	463,011	622,523	442,941	22,941
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-43,011	-202,523	-22,941	397,059

4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1

Wheel loader Komatsu WA 180-1 hanya menangani tiga lokasi seperti yang ditunjukkan Tabel 4.17, yakni lokasi 3, 12 dan 11. Meski demikian, lokasi-lokasi tersebut memiliki waktu penanganan yang dapat terbilang lama, jika mengingat bahwa kapasitas alat berat ini lebih besar dari pada alat berat yang lain. Lokasi 3 membutuhkan penanganan selama 1.112 menit, lokasi 12 membutuhkan 1.556 menit, dan lokasi 11 membutuhkan 334 menit. Melihat Tabel 4.17 dan Tabel 4.18, dapat diketahui jika alat berat ini diterjunkan hingga hari ke delapan, dimana penanganan terlama adalah ketika menangani lokasi 12, yakni mulai penanganan pada hari ke tiga dan selesai melakukan penanganan pada hari ke tujuh.

Tabel 4.17

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 1

Rute	1	3	12	11	1
Waktu Tempuh (menit)	17,091	18,087	26,981	62,160	
Waktu Penanganan (menit)		1.112	1.556	334	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	
ID Idle					

Tabel 4.18

Penerjunan *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 1

Hari ke	1	2	3	4
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.129,091	709,091	1.863,179	1.443,179
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-709,091	-289,091	-	-
Hari ke	5	6	7	8
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.023,179	603,179	544,160	186,320
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-603,179	-183,179	-124,160	233,680

5. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Alat berat ini melakukan penanganan pada lokasi 32 dan 31, sesuai Tabel 4.19. Meski hanya dua lokasi yang ditangani, waktu penanganan terpakai sangat lama, khususnya pada saat penanganan lokasi 32 yang membutuhkan waktu selama 12.500 menit atau hampir selama 30 hari. Hal ini terjadi karena pada tahap algoritmanya, alat berat tercepat akan melakukan penanganan pada lokasi vital, kemudian lokasi dengan bobot terbesar akan dilakukan penanganan menggunakan alat berat yang *available* dengan waktu penanganan tercepat, dimana pada kasus ini alat berat yang *available* adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). *Excavator* Komatsu PC 200-6 yang memiliki waktu penanganan tercepat diterjunkan untuk menangani lokasi vital, yakni lokasi 26 yang hanya membutuhkan waktu 47 menit atau selama 94 menit jika dikerjakan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Sedangkan jika *excavator* Komatsu PC 200-6 diterjunkan untuk menangani lokasi 32, alat berat tersebut dapat menyelesaikannya selama 6.250 menit atau selama hampir 15 hari. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan alat berat yang diterjunkan dapat memberikan hasil yang sangat signifikan, jika perbedaan kapasitas alat berat terlampau jauh. Selain itu hal ini juga menunjukkan adanya kekurangan pada algoritma pertama ini, sehingga kedepannya diharapkan dapat dilakukan penyesuaian kembali jika terjadi kondisi yang seperti demikian. Dengan melihat Tabel 4.19 dan 4.20 dapat diketahui jika lokasi 32 ditangani oleh alat berat ini mulai hari pertama hingga hari ke-30, sedangkan lokasi 31 ditangani mulai dari hari ke -30 hingga hari ke-39.

Tabel 4.19

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 1

Rute	1	32	31	1
Waktu Tempuh (menit)	29,835	36,413	66,248	
Waktu Penanganan (menit)		12.500	3.750	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	
ID <i>Idle</i>				

Tabel 4.20

Penerjunan *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 1

Hari ke	1	2	3	4	5
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	12.500,000	12.080,000	11.660,000	11.240,000	10.820,000
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-12.080,000	-11.660,000	-11.240,000	-10.820,000	-10.400,000
Hari ke	6	7	8	9	10
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	10.400,000	9.980,000	9.560,000	9.140,000	8.720,000
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-9.980,000	-9.560,000	-9.140,000	-8.720,000	-8.300,000
Hari ke	11	12	13	14	15
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	8.300,000	7.880,000	7.460,000	7.040,000	6.620,000
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-7.880,000	-7.460,000	-7.040,000	-6.620,000	-6.200,000
Hari ke	16	17	18	19	20
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	6.200,000	5.780,000	5.360,000	4.940,000	4.520,000
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-5.780,000	-5.360,000	-4.940,000	-4.520,000	-4.100,000

Hari ke	21	22	23	24	25
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	4.100,000	3.680,000	3.260,000	2.840,000	2.420,000
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.680,000	-3.260,000	-2.840,000	-2.420,000	-2.000,000
Hari ke	26	27	28	29	30
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	2.000,000	1.580,000	1.160,000	740,000	4.106,413
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.580,000	-1.160,000	-740,000	-320,000	-3.686,413
Hari ke	31	32	33	34	34
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.686,413	3.266,413	2.846,413	2.426,413	2.006,413
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.266,413	-2.846,413	-2.426,413	-2.006,413	-1.586,413
Hari ke	36	37	38	39	
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.586,413	1.166,413	746,413	392,661	
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.166,413	-746,413	-326,413	27,339	

6. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Berdasarkan algoritma 1, *excavator* Komatsu PC 200-6 diterjunkan untuk menangani tujuh lokasi bencana, sesuai Tabel 21. Alat berat ini sempat mengalami proses *idle* ketika hendak diterjunkan ke lokasi 30, jalur dari lokasi 27 menuju lokasi tersebut masih dilakukan penanganan di lokasi 32. Seperti penjelasan sebelumnya, waktu *idle* untuk menunggu lokasi 32 terbuka dibutuhkan waktu yang sangat lama, terbukti dengan selesainya *excavator* Komatsu PC 200-6 melakukan penanganan di lokasi 26, 28, 25, 29, 33 dan 27, lokasi 32 yang ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) masih belum selesai dan masih tersisa 10.577,25 menit. Pada penerjunan ini dapat diketahui bahwa ada beberapa hal yang dapat ditingkatkan, terutama terkait efektivitas penggunaan alat berat yang memiliki kapasitas lebih besar untuk

menangani lokasi bencana dengan kerusakan yang besar. Salah satu contoh yang sangat terlihat adalah ketika alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) melakukan penanganan pada lokasi 32. Penerjungan tersebut membutuhkan 12.500 menit. Sedangkan, jika lokasi 32 tersebut ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6, hanya selama 6.250 menit. Berdasarkan hal tersebut, sebenarnya dapat ditingkatkan agar penanganannya menjadi lebih cepat sehingga biayanya nanti juga akan lebih kecil. Oleh sebab itu, untuk meningkatkan hal tersebut, sesuai dengan *modified christofides et al. algorithm* dimana fase terakhir dari algoritma tersebut adalah fase iterasi, yang dilakukan untuk menemukan solusi terbaik dari solusi yang sudah ada. Dan melihat Tabel 4.21 dan Tabel 4.22, dapat dilihat jika ketika selesai menangani lokasi 27 pada hari ke lima, alat berat ini *idle* sangat lama yakni 10,557 menit, sehingga selesai menangani lokasi 30 hingga memasuki hari ke-41.

Tabel 4.21

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1

Rute	1	26	28	25	29	33	27	30	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	27,508	3,087	27,394	20,518	22,097	134,39	41,929	
Waktu Penanganan (menit)		47	235	157	625	625	125	4.219	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	0	0	0	0	10.577,25	
ID <i>Idle</i>								32	

Tabel 4.22

Penerjungan *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1

Hari ke	1	2	3	4	5	6
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	477,738	710,132	935,650	515,650	242,747	14.930,643
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-57,738	-290,132	-515,650	-95,650	177,253	-
Hari ke	7	8	9	10	11	12
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	14.510,643	14.090,643	13.670,643	13.250,643	12.830,643	12.410,643
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-	-	-	-	-	-
	14.090,643	13.670,643	13.250,643	12.830,643	12.410,643	11.990,643

Hari ke	13	14	15	16	17	18
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	11.990,643	11.570,643	11.150,643	10.730,643	10.310,643	9.890,643
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-	-	-	-	-9.890,643	-9.470,643
Hari ke	19	20	21	22	23	24
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	9.470,643	9.050,643	8.630,643	8.210,643	7.790,643	7.370,643
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-9.050,643	-8.630,643	-8.210,643	-7.790,643	-7.370,643	-6.950,643
Hari ke	25	26	27	28	29	30
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	6.950,643	6.530,643	6.110,643	5.690,643	5.270,643	4.850,643
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-6.530,643	-6.110,643	-5.690,643	-5.270,643	-4.850,643	-4.430,643
Hari ke	31	32	33	34	35	36
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	4.430,643	4.010,643	3.590,643	3.170,643	2.750,643	2.330,643
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-4.010,643	-3.590,643	-3.170,643	-2.750,643	-2.330,643	-1.910,643
Hari ke	37	38	39	40	41	
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.910,643	1.490,643	1.070,643	650,643	272,572	
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-14.90,643	-1.070,643	-650,643	-230,643	147,428	

Pada penerjunan yang telah dilakukan, yang memiliki penerjunan yang belum optimal adalah pada alat berat berjenis *excavator*, maka iterasi yang dilakukan hanya untuk kedua *excavator* tersebut. Berikut merupakan urutan penanganan setelah dilakukan iterasi yang ke dua.

1. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Setelah dilakukan iterasi, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang awalnya diterjunkan untuk lokasi 32 serta 32 berubah menjadi lokasi 28, 25, 29, 33, 27 serta 31. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.23. Jika melihat hasil iterasi 2, membuat alat berat ini tidak memiliki beban kerja sebesar iterasi pertama. Sehingga meski pada iterasi ke dua alat berat ini memiliki rute yang lebih banyak, namun pada iterasi ke dua ini total waktu penerjunan dari alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) lebih singkat. Melihat Tabel 4.23 dan Tabel 4.24, alat berat ini menangani lokasi 28 pada hari pertama hingga hari ke dua, kemudian lokasi 25 dan 29 hingga masuk hari ke lima, lokasi 33 hingga hari ke delapan, lokasi 27 hingga hari ke sembilan, dan lokasi 31 ditangani hingga memasuki hari ke dua puluh lima, karena terdapat hambatan pada lokasi 32, yang masih dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6, sehingga membuat alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) ini *idle*.

Tabel 4.23

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) Algoritma 1 Iterasi 2

Rute	1	28	25	29	33	27	31	1
Waktu Tempuh (menit)	19,365	3,087	27,394	20,518	22,097	158,709	66,248	
Waktu Penanganan (menit)		469	313	1.250	1.250	250	3.750	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	0	2.718,66	
ID Idle							32	

Tabel 4.24

Penerjunan *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) Algoritma 1 Iterasi 2

Hari ke	1	2	3	4	5
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	488,365	1.661,846	1.241,846	821,846	1.672,364
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-68,365	-1.241,846	-821,846	-401,846	-1.252,364
Hari ke	6	7	8	9	10
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.252,364	832,364	684,461	6.891,830	6.471,830
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-832,364	-412,364	-264,461	-6.471,830	-6.051,830

Hari ke	11	12	13	14	15
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	6.051,830	5.631,830	5.211,830	4.791,830	4.371,830
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-5.631,830	-5.211,830	-4.791,830	-4.371,830	-3.951,830
Hari ke	16	17	18	19	20
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.951,830	3.531,830	3.111,830	2.691,830	2.271,830
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.531,830	-3.111,830	-2.691,830	-2.271,830	-1.851,830
Hari ke	21	22	23	24	25
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.851,830	1.431,830	1.011,830	591,830	238,078
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.431,830	-1.011,830	-591,830	-171,830	181,922

2. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Melihat Tabel 4.25 dan Tabel 4.26, alat berat ini pada iterasi ke duanya hanya memberikan tiga lokasi bencana, yakni lokasi 26, 32 dan 30. Meski begitu, hal ini ternyata memberikan beban yang lebih besar dibandingkan iterasi pertama. Namun hal ini dinilai menguntungkan daripada di iterasi pertama, dimana lokasi 32 ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang membutuhkan waktu penanganan hampir selama 30 hari, sedangkan pada iterasi ini hanya 15 hari, yakni mulai hari pertama, setelah menangani lokasi 26, hingga hari ke enam belas.

Tabel 4.25

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Iterasi 2

Rute	1	26	32	30	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	37,978	12,094	41,929	
Waktu Penanganan (menit)		47	6.250	4.219	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	
ID Idle					

Tabel 4.26

Penerjunan *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Iterasi 2

Hari ke	1	2	3	4	5	6
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	6.343,121	5.923,121	5.503,121	5.083,121	4.663,121	4.243,121
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-5.923,121	-5.503,121	-5.083,121	-4.663,121	-4.243,121	-3.823,121
Hari ke	7	8	9	10	11	12
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.823,121	3.403,121	2.983,121	2.563,121	2.143,121	1.723,121
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.403,121	-2.983,121	-2.563,121	-2.143,121	-1.723,121	-1.303,121
Hari ke	13	14	15	16	17	18
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.303,121	883,121	463,121	4.274,215	3.854,215	3.434,215
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-883,121	-463,121	-43,121	-3.854,215	-3.434,215	-3.014,215
Hari ke	19	20	21	22	23	24
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.014,215	2.594,215	2.174,215	1.754,215	1.334,215	914,215
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-2.594,215	-2.174,215	-1.754,215	-1.334,215	-914,215	-494,215
Hari ke	25	26				
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420				
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	494,215	116,144				
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-74,215	303,856				

4.3.5.7.2 Algoritma 2

Berdasarkan skema yang terdapat pada Gambar 4.12, dapat dilakukan langkah-langkah yang ada pada skema tersebut untuk menerjunkan alat berat. Berikut ini akan

ditunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam penerjunan alat berat untuk menangani bencana yang terjadi. Langkah-langkah berikut terkait penerjunan alat berat berjenis *excavator*.

1. Memulai langkah-langkahnya dengan memperbarui kejadian yang ada, dengan beberapa informasi yang dibutuhkan. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa pada hari pertama ini, terdapat delapan lokasi yang mengalami bencana dan membutuhkan penanganan menggunakan *excavator*. Berdasarkan lokasi kejadian yang ada, disusunlah *minimum spanning tree*, dimana MST yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.14.
2. Alat berat *excavator* yang tersedia terdapat dua tipe, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6, dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). *Time windows* masih tersedia, dan terdapat satu lokasi vital di lokasi 26, yang membuat penerjunan ke lokasi tersebut menggunakan alat berat yang tersedia dengan kapasitas terbesar, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6. Alat berat tersebut melakukan penanganan selama 47 menit dan dengan waktu tempuh selama 8,143 menit.
3. Alat berat yang tersedia selanjutnya adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), karena lokasi vital telah ada yang menangani, maka alat berat ini akan melakukan penanganan terhadap lokasi terdekat dari posisinya saat ini. Dimana lokasi terdekat tersebut adalah lokasi 28, dengan waktu tempuh selama 19,365 menit dan dengan waktu penanganan selama 469 menit. Hal ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) akan kembali tersedia pada hari ke dua.
4. Alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 kembali tersedia di hari pertama setelah melakukan penanganan di lokasi 26. *Time windows* masih tersedia, dan lokasi vital telah tertangani, maka penanganan selanjutnya berdasarkan lokasi terdekat dari posisi terakhir alat berat tersebut. Lokasi 25 menjadi lokasi yang belum tertangani dan memiliki jarak terdekat, namun karena masih tertutup di lokasi 28, maka penanganan dialihkan menuju lokasi terdekat selanjutnya, yakni lokasi 32. Dimana membutuhkan waktu tempuh selama 37,978 menit dari lokasi 26 dan waktu penanganannya selama 6.250 menit. Hal ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 akan kembali tersedia ketika masuk hari ke enam belas.
5. *Time windows* untuk hari pertama sudah tidak tersedia, maka akan berlanjut pada hari berikutnya. Seperti pada tahapan awal, dimana dilakukan pembaruan data kejadian, dan di hari ke dua ini diketahui bahwa terdapat lokasi bencana tambahan. Hal ini

membuat perubahan pada *minimum spanning tree*. Perubahan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.15.

6. Alat berat yang tersedia di hari ke dua ini adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), dan memiliki waktu untuk melakukan penanganan pada lokasi lain. Tidak ada lokasi vital yang mengalami kejadian bencana, sehingga penanganan dilakukan berdasarkan lokasi terdekat dari posisi terakhir alat berat tersebut. Lokasi terdekat itu adalah lokasi 25, yang membutuhkan waktu tempuh selama 3,087 menit dan dengan lama penanganan selama 313 menit. *Excavator* Komatsu PC 200-6 kembali tersedia pada hari tersebut dan masih memiliki waktu untuk melakukan penanganan. Maka penanganan akan dilanjutkan berdasarkan lokasi terdekat dari lokasi 25, yakni lokasi 29. Dimana membutuhkan waktu tempuh selama 27,394 menit dan penanganan selama 1.250 menit. Hal ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) harus berkerja hingga hari ke lima.
7. Seperti yang diketahui, tidak terjadi bencana susulan setelah hari ke dua. Sehingga *minimum spanning tree* tidak mengalami perubahan lagi, meski dilakukan pembaruan data kejadian.
8. Alat berat yang tersedia paling awal adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) pada hari ke lima. Penanganan selanjutnya yang dilakukan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) adalah lokasi terdekat dari lokasi 29, yakni lokasi 33 yang memiliki waktu tempuh selama 20,518 menit dari lokasi 29 dan membutuhkan penanganan selama 1.250 menit. Hal ini kembali membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) akan kembali tersedia pada hari ke delapan.
9. Alat berat yang tersedia paling awal adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) kembali. Penanganan yang dilakukan kembali berdasarkan lokasi terakhir dari lokasi alat berat tersebut. Penanganan berlanjut ke lokasi 27 yang membutuhkan waktu tempuh selama 22,097 menit dan 250 menit untuk waktu penanganannya. *Excavator* Komatsu PC 200-6 membutuhkan waktu hingga hari ke sembilan untuk kembali tersedia dan mampu melakukan penanganan.
10. Pada hari ke sembilan, hanya *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang tersedia. Penerjunan dilanjutkan kembali berdasarkan lokasi terdekat. Lokasi terdekat tersebut adalah lokasi 31, yang memakan waktu tempuh selama 158 menit dan lama penanganannya selama 3.750 menit. Penanganan yang dilakukan terhadap lokasi tersebut tidak dapat langsung dilakukan karena jalur yang masih tertutup di lokasi 32, dan tidak ada lokasi terdekat lainnya yang jalurnya terbuka. Sehingga membuat

excavator Komatsu PC 200-6 (*long arm*) akan mengalami *idle* hingga jalur di lokasi 32 terbuka.

11. Lokasi 32 terbuka pada hari ke enam belas, dan terdapat dua alat berat yang tersedia, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6 dan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Penanganan akan dilanjutkan berdasarkan lokasi terdekat dari lokasi terakhir, dan karena terdapat dua alat berat yang tersedia maka penanganan akan dilakukan berdasarkan penanganan tercepat. Hal ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 akan diterjunkan menuju lokasi 30, yang membutuhkan waktu tempuh selama 12,094 menit dari lokasi 32 dan lama penanganan selama 4.219 menit. Sedangkan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) akan diterjunkan menuju lokasi 31, dengan waktu tempuh selama 158,881 menit dan lama penanganan selama 3.750 menit. Hal ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 akan kembali tersedia pada hari ke dua puluh enam, sedangkan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) pada hari ke dua puluh empat
12. Tidak adanya bencana susulan, dan karena seluruh lokasi bencana telah tertangani, maka setiap alat berat akan diposisikan kembali menuju *depot* sesaat ketika telah selesai melakukan penanganan di setiap lokasi terakhirnya. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) diposisikan kembali menuju *depot* pada hari ke dua puluh empat dengan waktu tempuh selama 66,248 menit, sedangkan *excavator* Komatsu PC 200-6 akan diposisikan kembali menuju *depot* pada hari ke dua puluh enam dengan waktu tempuh selama 41,929 menit.
13. Dilakukan perhitungan terkait biaya-biaya yang dikeluarkan. Selain itu juga dimunculkan *output data* berupa lokasi yang ditangani setiap alat berat, waktu perjalanan, waktu penanganan, serta total biaya.

Setelah dilakukan penerjunan alat berat berjenis *excavator* terhadap lokasi-lokasi yang membutuhkan penanganan menggunakan alat berat tersebut. Maka selanjutnya akan dilakukan penerjunan terhadap lokasi-lokasi yang membutuhkan penanganan menggunakan alat berat non-*excavator*. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam menerjunkan alat berat berjenis *loader* dan *grader* dengan menggunakan algoritma 2.

1. Seperti yang dilakukan sebelumnya, memulai langkah-langkah dengan memperbarui data kejadian. Selanjutnya disusun matriks jarak, dan membuat *minimum spanning tree* sebagai model jalur yang akan dilalui. MST yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.16.

2. Pada penerjunan hari pertama, terdapat empat alat berat yang tersedia, dan terdapat lokasi vital yang membutuhkan penanganan segera. Sehingga penanganan terhadap lokasi vital itu menggunakan alat berat yang memiliki kapasitas terbesar, yakni *wheel loader* Komatsu WA 200-5. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 diterjunkan menuju lokasi 2, dengan waktu tempuh selama 8,143 menit dan lama penanganan selama 445 menit, yang membuat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan kembali tersedia pada hari ke dua.
3. Pada hari pertama masih tersedia tiga alat berat yang lain, dan arena lokasi vital telah ada yang menangani, maka penerjunan selanjutnya berdasarkan jarak terdekat dari lokasi terakhir. Lokasi terdekat pertama terdapat lokasi 5 yang membutuhkan waktu tempuh selama 6,106 menit dan alat berat yang diterjunkan adalah *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Lokasi terdekat selanjutnya adalah lokasi 3, dengan waktu tempuh selama 17,091 menit dan alat berat yang diterjunkan adalah *backhoe loader* Hollan B 90B. Lokasi terdekat selanjutnya adalah lokasi 18, yang memiliki waktu tempuh selama 11,374 menit dan alat berat yang diterjunkan adalah *motor grader* Komatsu MG 3H. Namun karena lokasi 18 masih tertutup di lokasi 5 dan tidak ada lokasi terdekat yang lain, maka *motor grader* Komatsu MG 3H akan *idle* sampai lokasi 5 terbuka.
4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 kembali tersedia pada hari pertama dan masih memiliki waktu untuk melakukan penanganan. Maka penerjunan alat berat tersebut akan dilanjutkan kembali berdasarkan lokasi terdekat dan lokasi tersebut adalah lokasi 19 yang membutuhkan waktu tempuh selama 3,790 menit dan lama penanganan selama 139 menit. Lokasi 5 yang telah terbuka, maka membuat *motor grader* Komatsu MG 3H dapat melakukan penanganan kepada lokasi 18. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 kembali tersedia pada hari tersebut, dan penanganan berlanjut ke lokasi 6, dengan lama waktu tempuh 4,735 menit dan waktu penanganan selama 50 menit. Hal ini membuat *wheel loader* Komatsu WA 180-1 masih memungkinkan untuk melakukan penanganan kembali pada hari yang sama. Oleh karena itu, alat berat tersebut melakukan penanganan lanjutan menuju lokasi 17 yang memiliki waktu tempuh selama 0,643 menit dan lama penanganannya 445 menit. Tidak adanya alat berat yang kembali tersedia, dan *time windows* yang sudah tidak tersedia membuat dilakukannya pembaruan kejadian untuk hari selanjutnya.
5. Pembaruan kejadian pada hari ke dua, membuat perubahan pada *minimum spanning tree* yang terbentuk. Perubahan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.17.

6. Pada hari kedua ini, alat berat yang tersedia pertama kali adalah *wheel loader* Komatsu WA 200-5. Penerjunan dilanjutkan berdasarkan lokasi terdekat dari lokasi terakhirnya dan karena lokasi yang memungkinkan untuk dilalui hanya lokasi 4, maka penerjunan dilanjutkan menuju lokasi tersebut. Setelah menangani lokasi 4, alat berat ini kembali tersedia, maka kembali diterjunkan menuju lokasi terdekat, namun karena lokasi 17 yang menghubungkan menuju lokasi terdekat lainnya masih dilakukan penanganan, maka *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan *idle* sampai jalurnya terbuka.
7. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 tersedia pada hari ke dua setelah melakukan penanganan pada lokasi 17, dan penanganan dilakukan menuju lokasi terdekat selanjutnya, yakni lokasi 22 yang membutuhkan waktu tempuh selama 0,967 menit dan lama penanganan 45 menit. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 yang menunggu lokasi 17 terbuka, ternyata kembali harus *idle* karena lokasi 34 masih tertutup di lokasi 22. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 setelah menangani lokasi 22, kembali tersedia. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 diterjunkan menuju lokasi 23 yang merupakan lokasi terdekat. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 diterjunkan menuju lokasi 34 setelah lokasi 22 terbuka. Hal ini membuat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan kembali tersedia pada hari ke tiga. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 kembali tersedia pada hari ke dua dan penerjunan dilanjutkan menuju lokasi 35 yang memiliki waktu tempuh selama 21,418 menit dan lama penanganan selama 334 menit. Hal ini membuat *wheel loader* Komatsu WA 180-1 juga akan kembali tersedia pada hari ke tiga.
8. Pada hari ke tiga tidak terjadi bencana susulan, sehingga *minimum spanning tree* tidak mengalami perubahan. Alat berat yang tersedia pertama kali pada hari tersebut adalah *wheel loader* Komatsu WA 200-5. Maka penanganan akan dilanjutkan menuju lokasi terdekat selanjutnya, namun karena lokasi terdekat masih terhalang oleh lokasi bencana yang sedang dilakukan penanganan di lokasi 23 dan 35, maka alat berat tersebut akan kembali *idle* hingga jalurnya terbuka. Alat berat yang tersedia selanjutnya adalah *wheel loader* Komatsu WA 180-1, dan penerjunan dilanjutkan berdasarkan lokasi terdekatnya, yakni lokasi 8 yang membutuhkan waktu tempuh selama 35,841 menit dan penanganan selama 167 menit. Setelah lokasi 8 terbuka, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dapat diterjunkan menuju lokasi terdekat yang lain, yakni lokasi 10. Dimana dengan menangani lokasi 10 ini alat berat tersebut akan kembali tersedia pada hari ke enam.

9. Pada hari ke empat kondisinya tidak mengalami perubahan dari *minimum spanning tree* terakhir. Alat berat yang tersedia pertama kali adalah *wheel loader* Komatsu WA 180-1, yang akan diterjunkan menuju lokasi 21 sebagai lokasi terdekat dari lokasi 8. Alat berat lain yang tersedia kembali pada hari ke empat adalah *backhoe loader* Hollan B 90B. Alat berat ini diterjunkan menuju lokasi 15 yang merupakan lokasi terdekat dari lokasi 3, yakni hanya berwaktu tempuh selama 1,594 menit. Setelah melakukan penanganan pada lokasi 15, alat berat *backhoe loader* Hollan B 90B kembali tersedia, sehingga penerjunan dilakukan menuju lokasi terdekat dari lokasi 15, yakni menuju lokasi 12 yang memiliki waktu tempuh selama 19,682 menit dan membutuhkan penanganan selama 2.154 menit yang membuat alat berat ini akan kembali tersedia pada hari ke sepuluh. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 kembali tersedia setelah menangani lokasi 21. Penerjunan dilanjutkan menuju lokasi 20, yang memiliki waktu tempuh selama 4,476 menit dan waktu penanganan selama 139 menit. Setelah dari lokasi 20, alat berat ini kembali tersedia dan penanganan dilanjutkan menuju lokasi 24 yang berwaktu tempuh 6,346 menit dari lokasi 20 dan dengan lama penanganan selama 6 menit. Setelah itu penanganan berlanjut menuju lokasi 7 yang berjarak 18,893 menit dan lama penanganannya selama 445 menit. Selanjutnya *wheel loader* Komatsu WA 180-1 akan kembali tersedia pada hari ke lima.
10. Pada hari kelima tidak terjadi perubahan pada kejadian bencana. Alat berat yang tersedia hanya *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Alat berat tersebut diterjunkan menuju lokasi 16 yang memiliki waktu tempuh selama 28,107 menit dan waktu penanganan selama 167 menit. Sehingga membuat alat berat ini akan tersedia pada hari ke enam.
11. Pada hari ke enam, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 kembali tersedia lebih dahulu. Namun lokasi bencana yang belum tertangani masih tertangani di beberapa lokasi sehingga alat berat ini tidak dapat melakukan penanganan kembali. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 kembali tersedia setelah menangani lokasi 9. Penerjunan alat berat tersebut berlanjut menuju lokasi 9 yang memiliki waktu tempuh hanya 1,140 menit dari lokasi 10 dan waktu penanganan selama 223 menit. Setelah itu *wheel loader* Komatsu WA 200-5 kembali diterjunkan menuju lokasi 13 yang memiliki waktu tempuh selama 21,372 menit dari lokasi 9 dan waktu penanganan selama 334 menit. Sehingga *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan kembali tersedia pada hari ke tujuh.

12. Pada hari ke tujuh, tidak terdapat perubahan kejadian kembali. Terdapat dua alat berat yang tersedia, yakni *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Lokasi terdekat yang belum tertangani adalah lokasi 14, maka *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan diterjunkan menuju lokasi tersebut yang hanya berjarak 10,903 menit dan lama penanganannya selama 84 menit. Penanganan yang dilakukan oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan membuat alat berat ini kembali tersedia pada hari ke delapan.
13. Pada hari ke delapan ini, terdapat dua alat berat yang kembali tersedia, yakni *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Penerjunan tidak dapat dilakukan karena lokasi yang belum tertangani, jalurnya masih tertutup dan masih dilakukan penanganan oleh alat berat yang lain. Alat berat tersebut adalah *backhoe loader* Holland B 90B yang sedang menangani lokasi 12 hingga hari ke sepuluh. Hal ini praktis membuat penerjunan akan dapat dilakukan kembali pada hari ke sepuluh itu.
14. Pada hari ke sepuluh, terdapat tiga alat berat yang tersedia, yakni *wheel loader* Komatsu WA 200-5, *wheel loader* Komatsu WA 180-1, dan *backhoe loader* Holland B 90B. Lokasi yang belum tertangani dan yang terdekat adalah lokasi 11, yang memiliki waktu tempuh selama 26,981 menit dari lokasi terakhir *backhoe loader* Holland B 90B. Sehingga alat berat yang diterjunkan menuju lokasi tersebut adalah *backhoe loader* Holland B 90B. Penanganan yang dilakukan pada lokasi tersebut selama 462 menit, yang membuat *backhoe loader* Holland B 90B akan kembali tersedia pada hari ke sebelas. Pada hari kesepuluh ini, seluruh lokasi telah tertangani, sehingga seluruh alat berat yang tidak sedang melakukan penanganan dapat diposisikan kembali menuju *depot*.
15. Perhitungan biaya penanganan yang dikeluarkan serta *output data* berupa lokasi yang ditangani setiap alat berat, waktu perjalanan, waktu penanganan, serta total biaya.

Berdasarkan langkah-langkah yang telah diuraikan sebelumnya, maka berikut merupakan urutan rute penanganan yang dilakukan oleh setiap alat berat ketika diterjunkan menggunakan algoritma 2. Sedangkan untuk melihat lebih rinci penerjunan yang dilakukan, dapat dilihat pada Lampiran 30.

1. *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H

Berdasarkan algoritma 2 ini, pada Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa *motor grader* melakukan penanganan hanya pada satu lokasi yakni lokasi 18 sama seperti pada penerjunan menggunakan algoritma 1. Lokasi 18 yang memiliki waktu penanganan

sebesar 4.000 menit jika ditangani oleh *motor grader*, memungkinkan munculnya proses *idle* pada alat berat yang lain, jika harus diterjunkan untuk menangani suatu lokasi namun terhalang dengan adanya penanganan yang lama pada lokasi 18.

Tabel 4.27

Rute *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 2

Rute	1	18	1
Waktu Tempuh (menit)	11,374	11,374	
Waktu Penanganan (menit)		4.000	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		24	
ID <i>Idle</i>		5	

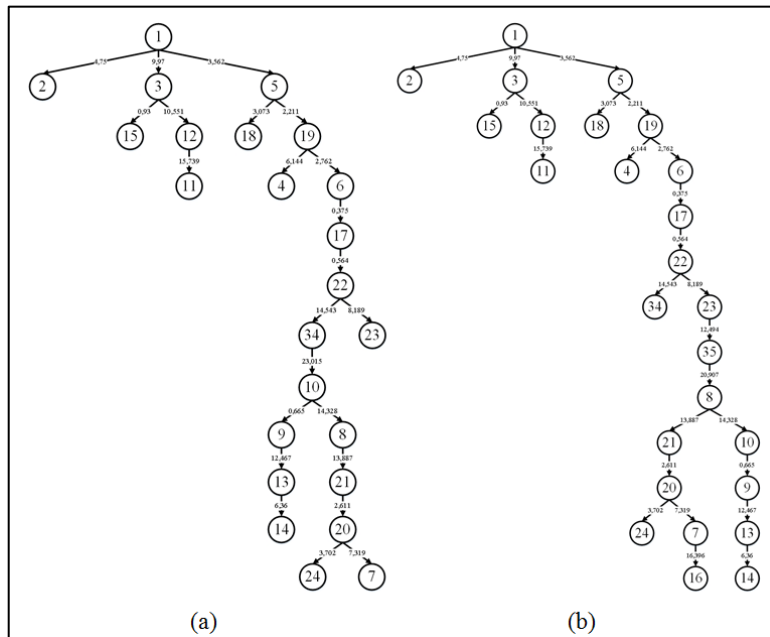
Tabel 4.28

Penerjungan *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 2

Hari ke	1	2	3	4	5
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	4.035,374	3.615,374	3.195,374	2.775,374	2.355,374
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.615,374	-3.195,374	-2.775,374	-2.355,374	-1.935,374
Hari ke	6	7	8	9	10
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.935,374	1.515,374	1.095,374	675,374	266,749
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.515,374	-1.095,374	-675,374	-255,374	153,251

Namun kemungkinan munculnya proses *idle* ini nyatanya tidak terjadi, baik pada penerjungan dengan algoritma 1 maupun algoritma 2. Kenapa demikian, hal ini dikarenakan lokasi 18 berada pada *node* dimana percabangan *tree* berakhir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18, atau dengan kata lain, tidak ada lokasi lain yang harus dijangkau dengan melalui lokasi 18. Sehingga meski waktu penanganan lama, hal ini tidak menghambat penerjungan alat berat yang lain. Pada Gambar 4.18 dapat dilihat perbedaan *tree* yang ada, hal ini terjadi karena mengingat ada dua hari kejadian bencana, dimana lokasi 15, 16 dan 35 baru terjadi bencana pada hari ke dua yang membuat struktur *tree* yang terbentuk mengalami perubahan, sesuai *minimum*

spanning tree-nya. Melihat Tabel 4.27 dan 4.28, diketahui pula, dengan algoritma 2 ini memberikan rute penerjunan yang sama dengan algoritma 1 serta hari penerjunannya juga sama, yakni hingga memasuki hari ke sepuluh, meski lokasi yang ditangani sama, namun perbedaannya dengan algoritma 1 terletak pada lamanya waktu *idle*, meski sama-sama disebabkan karena menunggu lokasi 5 selesai untuk ditangani, pada algoritma 2 ini waktu *idle motor grader* ini hanya 24 menit, sedangkan pada algoritma 1 waktu *idle*-nya selama 39,105 menit.



Gambar 4.18 Tree lokasi bencana non-excavator (a) hari pertama dan (b) hari kedua

2. Backhoe loader Holland B 90B

Tabel 4.29

Rute Backhoe Loader Holland B 90B Algoritma 2

Rute	1	3	15	12	11	1
Waktu Tempuh (menit)	17,091	1,594	19,682	26,981	62,160	
Waktu Penanganan (menit)		1.539	74	2.154	462	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	
ID Idle						

Penerjunan menggunakan algoritma 2 membuat *backhoe loader* Holland B 90B menangani empat lokasi bencana seperti pada Tabel 4.29, diantaranya lokasi dengan ID 3, 15, 12 serta 11. Penanganan terlama dari alat berat ini ketika diterjunkan untuk menangani lokasi 3 dan lokasi 12, dimana keduanya membutuhkan waktu penanganan yang lebih dari satu waktu operasional atau lebih dari satu hari. Berkaca pada Tabel

4.29 dan Tabel 4.30, lokasi 3 membutuhkan waktu penanganan selama 1.539 menit yang berarti selama hampir empat hari, sedangkan lokasi 12 yang memiliki waktu penanganan selama 2.154 menit atau lebih dari lima hari kerja dimana pada penanganannya membutuhkan waktu hingga hari ke sepuluh, karena sebelumnya melakukan penanganan pada lokasi 15 selama 74 menit. Lokasi 11-pun membutuhkan waktu penanganan yang lebih dari satu hari operasional, dengan penanganan dimulai pada hari ke sepuluh dan selesai pada hari ke sebelas.

Tabel 4.30

Penerjunan *Backhoe Loader* Holland B 90B Algoritma 2

Hari ke	1	2	3	4	5	6
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.556,091	1.136,091	716,091	2.545,367	2.125,367	1.705,367
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.136,091	-716,091	-296,091	-2.125,367	-1.705,367	-1.285,367
Hari ke	7	8	9	10	11	
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.285,367	865,367	445,367	514,349	156,509	
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-865,367	-445,367	-25,367	-94,349	263,491	

3. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Berdasarkan pada Tabel 4.31, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 menangani tujuh lokasi. Selain itu, alat berat ini juga mengalami beberapa kali proses *idle*, dimana *idle* pertama terjadi ketika dari lokasi 4 menuju lokasi 34, serta *idle* kedua ketika dari lokasi 34 menuju lokasi 10. Hal ini terjadi lantaran di lokasi 17, 22, 23, 35 dan 8 masih dilakukan penanganan, dan jika dilihat lebih jauh, lokasi-lokasi tersebut ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Sehingga meski jalur tertutup, hal ini tidak terlalu lama jika dibandingkan dengan lama waktu penanganan yang dilakukan *motor grader* di lokasi 18, yakni selama 4.000 menit. Melirik Tabel 4.31 dan Tabel 4.32, diketahui bahwa dengan tujuh lokasi yang ditangani oleh alat berat ini, hanya membutuhkan waktu hingga memasuki hari ke delapan. Dimana sumbangsi terbesar adalah ketika akan menangani lokasi 10 yang membutuhkan waktu penanganan selama 445 menit ditambah dengan lamanya alat berat ini harus *idle* untuk menunggu lokasi 23, 35 dan 8

untuk selesai ditangani, yakni 858,138 menit, sehingga penanganan pada lokasi 10 harus dilakukan hingga memasuki hari ke enam. Selanjutnya ketika menangani lokasi 9 dan 13, yang masing-masing membutuhkan penanganan selama 223 menit dan 334 menit, sehingga penanganan untuk lokasi tersebut selesai pada hari ke tujuh, dan berlanjut pada lokasi 14 yang penanganannya hingga hari ke delapan.

Tabel 4.31

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 2

Rute	1	2	4	34	10
Waktu Tempuh (menit)	8,143	28,572	41,808	120,790	1,140
Waktu Penaganan (menit)		445	50	112	445
Waktu Idle (menit)		0	0	187,526	858,138
ID Idle				17, 22	23, 35, 8
Rute	9	13	14	1	
Waktu Tempuh (menit)	21,372	10,903	140,835		
Waktu Penaganan (menit)	223	334	84		
Waktu Idle (menit)	0	0	0		
ID Idle					

Tabel 4.32

Penerjunan *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 2

Hari ke	1	2	3	4
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	453,143	453,049	1.456,977	1.036,977
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-33,143	-33,049	-1.036,977	-616,977
Hari ke	5	6	7	8
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	616,977	776,489	592,227	172,227
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-196,977	-356,489	-172,227	247,773

4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1

Algoritma 2 memberikan rute kepada *wheel loader* Komatsu WA 180-1 untuk menangani lokasi yang lebih banyak dari pada yang lain, hal ini terlihat dari Tabel 4.33. Meski demikian hal ini cukup menguntungkan, karena disamping memiliki titik ataupun lokasi bencana yang lebih banyak dari pada yang lain, kapasitas dari alat berat ini yang cukup besar bahkan paling besar diantara alat berat yang dimiliki oleh Dinas PUPR Kabupaten Pacitan, ini membuatnya mampu menangani lokasi bencana dengan cukup cepat.

Tabel 4.33
Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 2

Rute	1	5	19	6	17	22	23	35
Waktu Tempuh (menit)	6,106	3,790	4,735	0,643	0,967	14,038	21,418	35,841
Waktu Penanganan (menit)		24	139	50	445	45	112	334
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	0	0	0
ID Idle								
Rute	8	21	20	24	7	16	1	
Waktu Tempuh (menit)	23,806	4,476	6,346	18,893	28,107	157,555		
Waktu Penanganan (menit)	167	50	139	6	445	167		
Waktu Idle (menit)	0	0	0	0	0	0		
ID Idle								

Tabel 4.34
Penerjunan *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 2

Hari ke	1	2	3	4	5	6
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	673,274	780,698	563,538	837,060	612,167	349,722
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-253,274	-360,698	-143,538	-417,060	-192,167	70,278

Hal lain yang menguntungkan adalah, jika dilihat rute yang dilalui oleh alat berat ini dapat terbilang cukup strategis karena jika melihat Gambar 4.16, Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, rute-rute yang dilalui oleh alat berat ini adalah rute yang memiliki

percabangan yang panjang dan banyak. Artinya, jika lokasi-lokasi tersebut tidak segera tertangani, maka lokasi selanjutnya juga akan kesulitan untuk ditangani sehingga waktu keseluruhan dari penanganannya pun akan menjadi lebih lama. Hal ini menjadi menguntungkan, karena yang melakukan penanganan pada lokasi-lokasi tersebut adalah alat berat yang memiliki kapasitas besar. Sehingga waktu penanganan yang dibutuhkan menjadi lebih singkat, dengan cakupan lokasi yang lebih banyak. Hal ini terbukti dengan melihat Tabel 4.34, dimana dengan lokasi penanganan yang banyak, waktu yang dibutuhkan hanya sampai hari ke enam.

5. *Excavator Komatsu PC 200-6 (long arm)*

Jika berkaca pada Tabel 4.35 dan Tabel 4.37, *excavator* berjenis *long arm* ini memiliki rute yang lebih banyak dari pada *excavator* yang biasa. Mengingat kapasitasnya yang lebih kecil dari *excavator* Komatsu PC 200-6 hal ini cukup berisiko. Meski demikian, proses penanganan terjadi cukup baik, setidaknya tidak ada proses *idle* yang disebabkan alat berat ini. Gambar 4.19 dapat menunjukkan kenapa hal tersebut terjadi. Rute yang dilalui alat berat ini berada pada satu rute atau tidak bercabang lebih dari satu, sedangkan lokasi bencana yang ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 berada pada cabang *tree* yang lain dan tidak bertumpuk pada rute yang dilalui *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), hal inilah yang membuat alat berat ini tidak menyebabkan proses *idle* pada alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Akan tetapi hal ini tidak lantas membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) tidak mengalami proses *idle*.

Tabel 4.35

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 2

Rute	1	28	25	29	33	27	31	1
Waktu Tempuh (menit)	19,365	3,087	27,394	20,518	22,097	158,71	66,248	
Waktu Penanganan (menit)		469	313	1.250	1.250	250	3.750	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	0	2.718,660	
ID Idle							32	

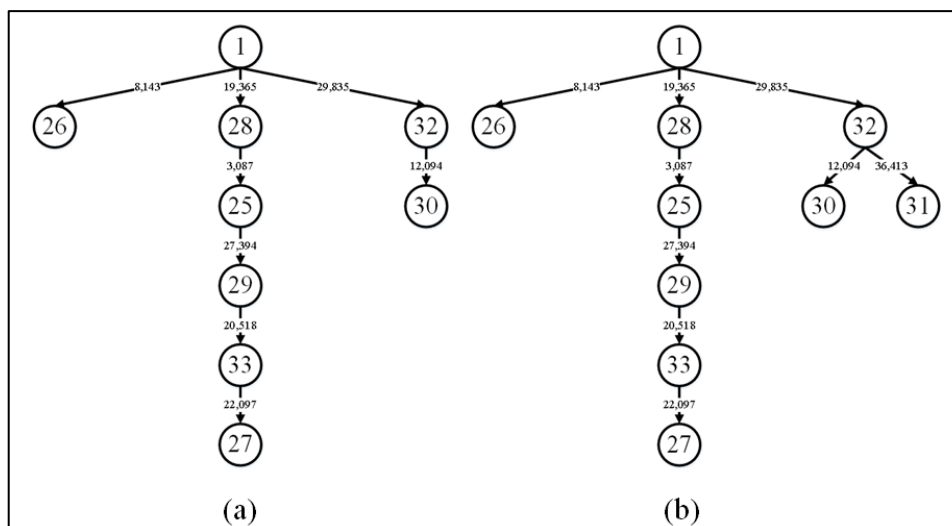
Pada Tabel 4.35 diketahui jika alat berat ini sempat *idle* selama 2.718,660 menit saat dari lokasi 27 menuju lokasi 31 karena penanganan pada lokasi 32. Hal ini membuat penanganan menjadi terhambat, dan pada Tabel 4.36 dapat diketahui jika lokasi 31 baru selesai ditangani ketika masuk hari ke dua puluh lima, padahal alat berat ini telah

selesai menangani lokasi 27 ketika masuk hari ke sembilan. Proses ini memakan waktu yang lama jika dibandingkan dengan penanganan pada lokasi penanganan yang lain. Lokasi 28 ditangani hingga hari ke dua, lokasi 25 dan 29 ditangani mulai hari ke dua hingga hari ke lima, lokasi 33 ditangani hingga hari ke delapan.

Tabel 4.36

Penerjunan *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 2

Hari ke	1	2	3	4	5
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	488,365	1.661,846	1.241,846	821,846	1.672,364
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-68,365	-1.241,846	-821,846	-401,846	-1.252,364
Hari ke	6	7	8	9	10
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.252,364	832,364	684,461	6.891,830	6.471,830
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-832,364	-412,364	-264,461	-6.471,830	-6.051,830
Hari ke	11	12	13	14	15
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	6.051,830	5.631,830	5.211,830	4.791,830	4.371,830
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-5.631,830	-5.211,830	-4.791,830	-4.371,830	-3.951,830
Hari ke	16	17	18	19	20
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.951,830	3.531,830	3.111,830	2.691,830	2.271,830
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.531,830	-3.111,830	-2.691,830	-2.271,830	-1.851,830
Hari ke	21	22	23	24	25
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.851,830	1.431,830	1.011,830	591,830	238,078
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-1.431,830	-1.011,830	-591,830	-171,830	181,922



Gambar 4.19 Tree lokasi bencana excavator (a) hari pertama (b) hari kedua

6. Excavator Komatsu PC 200-6

Pada alat berat excavator Komatsu PC 200-6, berdasarkan algoritma 2 alat berat tersebut melakukan penanganan pada lokasi 26, 32 serta lokasi 30 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.37. Proses penanganan terlama terjadi pada lokasi 32, yang membutuhkan waktu selama 6.250 menit atau hampir selama lima belas hari. Kemudian di lokasi 30 alat berat tersebut membutuhkan waktu selama 4.219 menit atau selama lebih dari sepuluh hari. Meski terjadi hal yang demikian, namun ini cukup menguntungkan, karena jika yang menangani lokasi tersebut adalah alat berat excavator yang berjenis *long arm*, maka akan dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk melakukan penanganan. Merujuk pada Tabel 4.37 dan Tabel 4.38, excavator Komatsu PC 200-6 menangani lokasi 26 dan 32 sejak hari pertama hingga hari ke enam belas, kemudian penanganan berlanjut pada lokasi 30, dimana penanganannya dimulai sejak hari ke enam belas hingga memasuki hari ke dua puluh enam, sebelum akhirnya kembali menuju *depot* pada hari tersebut untuk meningkatkan kesiap siagaan, sesuai dengan gambaran permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 4.37

Rute Excavator Komatsu PC 200-6 Algoritma 2

Rute	1	26	32	30	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	37,978	12,094	41.929	
Waktu Penaganan (menit)		47	6.250	4.219	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	
ID Idle					

Tabel 4.38
Penerjunan *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 2

Hari ke	1	2	3	4	5	6
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	6.343,121	5.923,121	5.503,121	5.083,121	4.663,121	4.243,121
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-5.923,121	-5.503,121	-5.083,121	-4.663,121	-4.243,121	-3.823,121
Hari ke	7	8	9	10	11	12
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.823,121	3.403,121	2.983,121	2.563,121	2.143,121	1.723,121
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-3.403,121	-2.983,121	-2.563,121	-2.143,121	-1.723,121	-1.303,121
Hari ke	13	14	15	16	17	18
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	1.303,121	883,121	463,121	4.274,215	3.854,215	3.434,215
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-883,121	-463,121	-43,121	-3.854,215	-3.434,215	-3.014,215
Hari ke	19	20	21	22	23	24
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420	420	420	420	420
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	3.014,215	2.594,215	2.174,215	1.754,215	1.334,215	914,215
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-2.594,215	-2.174,215	-1.754,215	-1.334,215	-914,215	-494,215
Hari ke	25	26				
<i>Time Windows</i> (menit)	420	420				
Total Waktu yang Dibutuhkan (menit)	494,215	116,144				
Sisa Waktu yang Dibutuhkan (menit)	-74,215	303,856				

4.3.5.8 Perhitungan Biaya

Setelah dilakukan penentuan rute serta perhitungan waktu penanganan dan waktu tempuh, maka selanjutnya akan dihitung biaya yang dikeluarkan untuk setiap algoritma

yang telah dilakukan. Waktu yang diperhitungkan adalah waktu tempuh dan waktu penanganan, sedangkan waktu *idle* tidak diperhitungkan, karena biaya yang dikeluarkan hanya untuk proses penanganan. Berikut ini merupakan rekap dari biaya yang dikeluarkan selama proses penanganan berdasarkan skema yang telah dibuat. Pada Tabel 4.39 dapat dilihat biaya yang dibutuhkan untuk melakukan proses penerjunan alat berat guna melakukan penanganan pada 34 lokasi bencana yang terjadi selama selang waktu dua hari dengan menggunakan algoritma pertama.

Tabel 4.39

Biaya Penanganan Berdasarkan Algoritma 1 Iterasi 1

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	328,382	2.239	2.567,382	7	150.000	808.000	-	-	6.706.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	124,32	3.002	3.126,32	8		808.000	-	-	7.664.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	22,749	4.000	4.022,749	10		808.000	-	-	9.580.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	285,066	6.033	6.318,066	16		1.212.000	2.000.000	8	37.792.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	132,496	16.250	16.382,5	40		1.212.000	2.000.000	3	60.480.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	440,130	2.258	2.698,13	7		808.000	-	-	6.706.000,00
Total	1.333.142	33.782	35.115,14	88				11	128.928.000,00

Algoritma pertama pada iterasi pertama ini memberikan waktu penerjunan selama 35.115,14 menit, atau selama 88 hari secara kumulatif. Selama 88 hari penerjunan tersebut,

biaya yang perlu dikeluarkan adalah sebesar Rp. 128.928.000,00. Dimana hampir 50% atau lebih tepatnya 46,9% dari pengeluaran tersebut berasal dari pembiayaan untuk penerjunan alat berat jenis *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Hal ini terjadi karena alat berat tersebut melakukan penanganan yang lebih lama dari pada alat berat yang lain, yakni selama 40 hari kerja. Jika melihat kepada pembahasan sebelumnya, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) melakukan proses penanganan yang lama pada saat menangani lokasi 32, yakni selama 12.500 menit sehingga membuatnya bekerja hampir selama 30 hari untuk menangani lokasi tersebut. Kemudian pengeluaran terbesar kedua adalah untuk penerjunan *excavator* Komatsu PC 200-6. Alat berat tersebut menggunakan biaya sebesar Rp. 37.792.000,00 atau sekitar 29% dari total biaya untuk melakukan penanganan di tujuh lokasi bencana selama 16 hari. Selanjutnya ada *motor grader* Mitsubishi MG 3 H sebesar Rp. 9.580.000,00, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 sebesar Rp. 7.664.000,00, dan *wheel loader* Komatsu WA 200-5 serta *backhoe loader* Holland B 90B yang sama-sama sebesar Rp. 6.706.000,00. Sedangkan ketika dilakukan iterasi yang ke dua, diperoleh hasil yang lebih baik. Pada Tabel 4.40 dapat dilihat bahwa pada iterasi 2 ini memberikan hasil yang lebih baik.

Pada Tabel 4.40 dari total waktu tempuh memang tidak terlihat adanya perbedaan, namun jika dilihat lebih rinci nampak perbedaan pada waktu tempuh dari alat berat berjenis *excavator*. Hasil yang lebih baik ditunjukkan pada total waktu penanganan dan penerjunan, dimana pada iterasi pertama total waktu penanganan yang sebesar 33.782 menit dapat direduksi menjadi 29.297 menit, sehingga menyebabkan total waktu penerjunan pada iterasi pertama yang sebesar 35.115,14 menit dapat ditekan hingga 30.630,142 menit. Hal ini berlanjut pada total biaya yang dikeluarkan, yakni sebesar Rp. 113.946.000,00 atau lebih rendah Rp. 14.982.000,00 dari pada iterasi pertama. Hal lain yang berubah dari iterasi pertama adalah terkait penyewaan truk untuk mengangkut *excavator*. Jika pada iterasi pertama digunakan delapan kali sewa untuk membantu perpindahan *excavator* Komatsu PC 200-6 dan tiga kali untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), sedangkan pada iterasi ke dua ini digunakan empat kali sewa untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 dan tujuh kali sewa untuk *excavator* Komatsu PC 200-6. Selain itu, terlepas dari apa yang disajikan pada Tabel 4.39 dan Tabel 4.40, pada iterasi pertama dibutuhkan waktu hingga hari ke-41 untuk menangani seluruh lokasi bencana yang ada, sedangkan pada iterasi ke dua hanya dibutuhkan waktu hingga masuk hari ke-26. Tentu hal ini sangat baik, disamping biaya yang dapat direduksi namun juga waktu

penerjunan yang juga dapat ditekan, sehingga pada penerapannya dapat meminimalisir potensi kerugian yang mungkin muncul.

Tabel 4.40

Biaya Penanganan Berdasarkan Algoritma 1 Iterasi 2

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	328,382	2.239	2.567,382	7	150.000	808.000	-	-	6.706.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	124,32	3.002	3.126,32	8		808.000	-	-	7.664.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	22,749	4.000	4.022,749	10		808.000	-	-	9.580.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	100,144	10.516	10.616,144	26		1.212.000	2.000.000	4	43.412.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	317,418	7.282	7.599,418	19		1.212.000	2.000.000	7	39.878.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	440,130	2.258	2.698,13	7		808.000	-	-	6.706.000,00
Total	1.333,142	29.297	30.630,142	77				11	113.946.000,00

Merujuk pada Tabel 4.41, biaya yang dikeluarkan untuk melakukan penanganan pada 34 lokasi bencana dengan menggunakan algoritma 2 adalah sebesar Rp. 113.946.000. Dimana biaya ini dikeluarkan untuk melakukan penanganan pada 34 lokasi bencana selama 77 hari kerja, dengan lama penanganan maksimal hingga hari ke 26. Meski memiliki total pengeluaran yang sama seperti algoritma pertama, akan tetapi pada hasil yang diperoleh memiliki perbedaan. Berbeda dengan algoritma pertama, dengan menggunakan algoritma kedua ini dapat diketahui bahwa pengeluaran terbesar berasal dari

penerjunan alat berat berjenis *excavator* Komatsu PC 200-6, yakni sebesar Rp. 43.412.000,00. Meski demikian, jika pada algoritma pertama sumbangsi terbesar biaya penanganan adalah sebesar 46,9% dari keseluruhan biaya, namun dengan algoritma ini prosentasenya adalah sebesar 38%, dan pengeluaran terbesar kedua yang dimiliki oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) sebesar 35%. Hal ini menunjukkan bahwa biaya yang dikeluarkan untuk kedua alat berat ini cukup berimbang, yakni Rp. 43.412.000,00 untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 dan Rp. 39.878.000,00 untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*).

Tabel 4.41
Biaya Penanganan Berdasarkan Algoritma 2

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkut)	Sewa Truk (angkut)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	373,563	1.693	2.066,563	5	150.000	808.000	-	-	4.790.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	326,722	2.123	2.449,722	6		808.000	-	-	5.748.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	22,749	4.000	4.022,749	10		808.000	-	-	9.580.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	100,144	10.516	10.616,144	26		1.212.000	2.000.000	4	43.412.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	317,418	7.282	7.599,418	19		1.212.000	2.000.000	7	39.878.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	127,509	4.229	4.356,509	11		808.000	-	-	10.538.000,00
Total	1.268,105	29.843	31.111,105	77				11	113.946.000,00

Sedangkan untuk alat berat yang lain, jika diurutkan dari pembiayaan terbesar terlebih dahulu, maka terdapat *backhoe loader* Holland B 90B yang melakukan penanganan selama 11 hari dengan biaya Rp. 10.538.000,00, kemudian *motor grader* Mitsubishi MG 3 H yang melakukan penanganan selama 10 hari dengan biaya Rp. 9.580.000,00, selanjutnya terdapat *wheel loader* Komatsu WA 180-1 yang melakukan penanganan selama 6 hari dengan biaya Rp. 5.748.000,00, selanjutnya disusul oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5 yakni sebesar Rp. 4.790.000 yang melakukan penanganan selama 5 hari.

4.4 Analisis dan Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan dan penentuan rute berdasarkan algoritma yang telah dibuat, selanjutnya akan dilakukan analisis terkait hasil yang diperoleh dengan membandingkan dengan kondisi *existing* saat ini. Perbandingan yang dilakukan berdasarkan bagaimana rute penerjunan alat beratnya, jarak tempuh dan waktu penanganannya, serta bagaimana biaya yang dikeluarkan selama proses penerjuanan. Pada analisis yang akan dilakukan ini, algoritma 1 yang dilakukan perbandingan dengan kondisi *existing* maupun algoritma 2 adalah hasil dari iterasi ke dua, yakni iterasi yang memberikan hasil yang lebih baik.

4.4.1 Perbandingan Rute dan Model Penerjunan Alat Berat

Jika membandingkan antara bagaimana rute yang diambil dari setiap alat berat ketika diterjunkan untuk menangani setiap lokasi bencana, terdapat perbedaan antara kondisi saat ini, dengan setelah melakukan penerjunan berdasarkan skema yang dibuat. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.42. Seperti pada alat berat berjenis *wheel loader* Komatsu WA 180-1, pada kondisi *existing*, alat berat tersebut diterjunkan untuk menanganai lokasi 17, 18, 19, 20, dan 21. Sedangkan ketika menggunakan algoritma 1, alat berat tersebut diterjunkan hanya untuk menangani tiga lokasi bencana yakni lokasi 3, 12 dan 11. Hasil yang berbeda juga ditunjukkan ketika menggunakan algoritma 2, dengan alat berat yang sama namun penerjunan dilakukan untuk menangani hingga 13 lokasi bencana. Berdasarkan hal tersebut memperlihatkan bahwa dengan algoritma 2 memberikan rute yang lebih banyak kepada alat berat berjenis *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Namun ternyata hal ini tidak berlaku secara menyeluruh, seperti pada alat berat *wheel loader* Komatsu 200-5. Pada kondisi *existing* alat berat tersebut melakukan penanganan kepada 16 lokasi bencana, sedangkan dengan menggunakan algoritma 1 alat berat tersebut

diterjunkan untuk melakukan penanganan kepada sembilan lokasi bencana dan jika menggunakan algoritma 2, *wheel loader* Komatsu 200-5 digunakan untuk melakukan penanganan kepada tujuh lokasi bencana, yakni lokasi 2, 4, 34, 10, 9, 13, dan lokasi 14. Meski terdapat beberapa perbedaan rute, namun pada algoritma 1 dan algoritma 2 terdapat kesamaan rute penerjunan, tepatnya ketika penerjunan alat berat berjenis *excavator*. Kedua *excavator* di dua algoritma tersebut memiliki rute yang sama, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6 menangani lokasi 26, 32 dan 30, sedangkan yang berjenis *long arm* menangani lokasi 28, 25, 29 33, 27, dan 31. Rute yang sama ini tidak muncul ketika penerjunan menggunakan algoritma 1 di iterasi pertama, namun pada iterasi ke dua. Hal ini memberikan gambaran bahwa untuk mencapai kondisi yang lebih baik, algoritma 1 membutuhkan iterasi yang mungkin tidak cukup satu kali, sedangkan pada algoritma 2, karena algoritma tersebut tidak memiliki tahapan iterasi sehingga hasil yang diperoleh bisa jadi telah optimal, namun tidak menutup kemungkinan bahwa hasilnya masih dapat ditingkatkan kembali.

Tabel 4.42
Perbandingan Rute Penanganan

No.	Alat Berat	Rute Existing	Algoritma 1	Algoritma 2
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→11→12→13→14→1→15→1→16→1	1→2→4→22→23→8→10→9→13→14→1	1→2→4→34→10→9→13→14→1
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	1→17→18→19→20→21→1	1→3→12→11→1	1→5→19→6→17→22→23→35→8→21→20→24→7→16→1
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubisi MG 3H	1→22→23→1→24→1	1→18→1	1→18→1
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	1→25→26→27→28→29→30→1→31→1	1→26→32→30→1	1→26→32→30→1
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	1→32→1→33→1	1→28→25→29→33→27→31→1	1→28→25→29→33→27→31→1
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	1→34→35→1	1→5→19→6→17→34→15→21→20→7→16→24→1	1→3→15→12→11→1

Selain itu, jika dilihat lebih detil maka dapat diketahui bahwa pada rute *existing* ada beberapa alat berat yang telah kembali menuju depot dan setelah itu kembali lagi menuju lokasi bencana, hal ini berbeda dengan rute berdasarkan algoritma, baik dengan algoritma 1 maupun 2. Pada rute berdasarkan algoritma, setiap alat berat akan kembali ke depot ketika seluruh lokasi telah dilakukan penanganan. Contohnya pada alat berat berjenis *excavator* Komatsu PC 200-6. Pada kondisi *existing*, alat berat tersebut setelah melakukan penanganan pada lokasi 30 dan sempat kembali menuju depot, sebelum kembali diterjunkan untuk melakukan penanganan pada lokasi 31. Hal berbeda ditunjukkan jika penerjunan dilakukan menggunakan algoritma 1 maupun 2. Berdasarkan kedua algoritma ini, alat berat tersebut atau bahkan yang lain tidak ada yang menuju depot, sebelum seluruh lokasi telah tertangani.

Hal lain yang dapat dianalisis dari Tabel 4.42 tersebut adalah alat berat yang melakukan penanganan pada lokasi vital. Seperti yang diketahui bahwa pada studi kasus terkait bencana yang terjadi di Kabupaten Pacitan ini terdapat dua lokasi vital, satu lokasi membutuhkan penanganan menggunakan alat berat berjenis *excavator*, sedangkan lokasi yang satunya dapat dilakukan penanganan menggunakan alat berat non-*excavator*. Lokasi tersebut adalah lokasi 26 dan juga lokasi 2. Lokasi 26 yang membutuhkan penanganan menggunakan *excavator*, baik pada kondisi *existing* maupun ketika menggunakan algoritma 1 dan 2 sama-sama dilakukan penanganan menggunakan alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6, yang merupakan alat berat berjenis *excavator* yang memiliki kapasitas yang paling besar di antara *excavator* yang lain. Ini dilakukan agar waktu penanganan dapat dilakukan dengan cepat. Namun sisi yang berbeda adalah pada kondisi *existing* hal ini tidak terjadi. *Excavator* Komatsu PC 200-6 melakukan penanganan pada lokasi 25 terlebih dahulu, baru kemudian menangani lokasi 26 yang merupakan lokasi yang vital. Berbeda halnya jika melihat alat berat non-*excavator* yang melakukan penanganan pada lokasi 2. Baik pada kondisi *existing*, algoritma 1 maupun 2 memberikan hasil yang sama, yakni lokasi 2 yang merupakan lokasi vital dilakukan penanganan terlebih dahulu sebelum melakukan penanganan pada lokasi yang lainnya.

4.4.2 Perbandingan Waktu Tempuh dan Waktu Penanganan

Pada Tabel 4.43 akan diperlihatkan bagaimana perbedaan terkait jarak tempuh dan waktu penanganan antara kondisi *existing* dengan kondisi yang terjadi setelah dilakukan penerjunan dan penanganan menggunakan algoritma yang telah dibuat. Secara keseluruhan, algoritma 1 memiliki total waktu penanganan yang lebih singkat dari pada

algoritma 2 maupun kondisi *existing*. Jika dibandingkan total waktu penerjunan antara algoritma 1 dengan kondisi *existing*, maka selisih diantara keduanya sebesar 1.148,983 menit atau hampir tiga hari. Sedangkan jika dibandingkan dengan algoritma 2, total waktu penerjunan algoritma 1 lebih singkat sekitar 480,963 menit atau sekitar 1 hari lebih 60 menit. Meski demikian, jika dilihat peralatan berat, maka terdapat penanganan yang lebih unggul algoritma 2 dibandingkan algoritma 1. Seperti pada *wheel loader* Komatsu WA 200-5 yang memiliki waktu penanganan selama 2.239 menit pada algoritma 1, namun hanya 1.693 menit pada algoritma ke dua dan begitu pula pada *wheel loader* Komatsu WA 180-1.

Tabel 4.43
Perbandingan Waktu Tempuh Dan Waktu Penanganan

No.	Alat Berat	<i>Existing</i>		Algoritma 1		Algoritma 2	
		Waktu Tempuh (menit)	Waktu Penanganan (menit)	Waktu Tempuh (menit)	Waktu Penanganan (menit)	Waktu Tempuh (menit)	Waktu Penanganan (menit)
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	724,382	5.482,22	328,382	2.239	373,563	1.693
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	220,402	1.216,67	124,32	3.002	326,722	2.123
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubis hi MG 3H	243,31	1.450	22,749	4.000	22,749	4.000
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	375,06	7.281,25	100,144	10.516	100,144	10.516
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	173,259	13.750	317,418	7.282	317,418	7.282
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	147,192	615,38	440,130	2.258	127,509	4.229
Total		1.883,605	29.895,52	1.333,142	29.297	1.268,105	29.843
Total Waktu Penerjunan		31.779.125		30.630,142		31.111,105	

Jika dibandingkan, algoritma 1 memang memiliki total waktu penerjunan yang lebih singkat dibandingkan kondisi *existing* maupun algoritma 2. Jika dibandingkan dengan

kondisi *existing*, algoritma 1 memiliki waktu tempuh yang lebih singkat. Dimana salah satu penyebab terjadinya hal tersebut karena pada kondisi *existing* ada beberapa alat berat yang kembali menuju depot lalu kembali lagi melakukan penanganan ketika lokasi bencana ada yang belum tertangani. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mobilisasi menjadi lebih lama, selain itu hal ini juga terjadi karena pada kondisi *existing* tidak digunakan MST sebagai upaya penentuan rutenya. Dimana dengan digunakannya MST ini dapat diketahui bagaimana jalur yang harus dilalui untuk menangani setiap lokasi bencana dengan *effort* berupa jarak maupun waktu tempuh seminimal mungkin. Selain waktu tempuhnya, total waktu penanganan pada algoritma 1 juga memberikan hasil yang lebih singkat dari pada kondisi *existing*. Hal ini menunjukkan bagaimana algoritma 1 menerjunkan alat berat yang ada sehingga mencapai tingkat yang seefektif mungkin dari segi waktu penanganan.

4.4.3 Perbandingan Biaya

Mengingat bahwa terdapat perbedaan terkait rute, waktu tempuh serta waktu penanganan, maka akan muncul perbedaan pula terkait biaya yang diperlukan dalam proses penerjunan alat berat untuk mengatasi bencana yang terjadi. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.44. Algoritma 1 yang memiliki total waktu penerjunan yang paling singkat dibandingkan dengan algoritma 2 maupun kondisi *existing*, memberikan dampak pula pada total biaya yang harus dikeluarkan. Jika dilihat algoritma 1 memerlukan biaya sebesar Rp. 113.946.000,00. Biaya tersebut dikeluarkan paling banyak untuk melakukan pembiayaan terhadap alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6, yakni sebesar Rp. 43.412.000,00. Dimana pada saat penerjunan, alat berat tersebut melakukan penanganan pada lokasi 32 yang memiliki beban yang besar, sehingga berdampak pada lamanya waktu penanganan.

Jika dibandingkan dengan kondisi *existing*, algoritma 1 lebih menguntungkan Rp. 9.148.000,00. Hal ini tentu saja diperoleh sebagai dampak dari total waktu penerjunan yang lebih singkat dari pada kondisi *existing*. Namun ternyata, penyebabnya tidak hanya hal tersebut. Jika melihat kembali pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.40, hal lain yang menyebabkan algoritma 1 memiliki biaya yang lebih rendah adalah terkait penyewaan truk untuk mengangkut *excavator*. Pada kondisi *existing* dibutuhkan 13 kali sewa truk, sedangkan pada algoritma 1 hanya sebanyak 11 kali. Meski secara total biaya untuk algoritma 1 lebih murah dari kondisi *existing*, namun jika memecah total biaya tersebut berdasarkan jenis alat beratnya, yakni *excavator* dan non-*excavator*, ternyata total biaya untuk non-*excavator* pada algoritma 1 lebih mahal Rp. 5.748.000,00. Sedangkan total biaya untuk *excavator* pada algoritma 1 lebih menguntungkan, yakni sebesar Rp.

14.896.000,00. Alasan mengapa biaya penerjunan alat berat non-*excavator* pada kondisi *existing* menjadi lebih murah dari algoritma 1 adalah karena pada kondisi *existing*, penerjunan banyak difokuskan pada *wheel loader* Komatsu WA 200-5 yang memiliki kapasitas besar, sedangkan alat berat *motor grader* Mitsubishi MG 3H dan *backhoe loader* Holland B 90B yang memiliki kapasitas yang lebih kecil jarang untuk dilakukan penerjunan. Sedangkan jika pada algoritma 1, hal ini tidak terjadi karena pada algoritma ini mencoba untuk mengoptimalkan setiap alat berat yang ada untuk membantu dalam melakukan penanganan di lokasi yang tertimpa bencana. Cermin dari hal ini adalah, meski algoritma 1 mencoba untuk mengoptimalkan setiap alat berat yang ada, baik kapasitas yang besar maupun yang kecil, namun tetap memberikan hasil yang lebih baik dari kondisi *existing*, yakni lebih baik dari segi total waktu penerjunan hingga total biaya yang dikeluarkan.

Tabel 4.44
Perbandingan Biaya

No.	Alat Berat	Total Biaya <i>Existing</i> (rupiah)	Total Biaya Algoritma 1 (rupiah)	Total Biaya Algoritma 2 (rupiah)
1.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	14.370.000,00	6.706.000,00	4.790.000,00
2.	<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	3.832.000,00	7.664.000,00	5.748.000,00
3.	<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	4.790.000,00	9.580.000,00	9.580.000,00
4.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200- 6	43.878.000,00	43.412.000,00	43.412.000,00
5.	<i>Excavator</i> Komatsu PC 200- 6 (<i>long arm</i>)	54.308.000,00	39.878.000,00	39.878.000,00
6.	<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	1.916.000,00	6.706.000,00	10.538.000,00
Total Biaya		123.094.000,00	113.946.000,00	113.946.000,00

Di kondisi yang lain, algoritma 2 nampaknya memberikan hasil yang sama seperti algoritma 1. Dimana total biaya di antara ke duanya sama-sama sebesar Rp. 113.946.000,00. Total biaya yang berimbang tersebut diperoleh dari selisih biaya yang dibutuhkan oleh ke dua *wheel loader* yang sama-sama sebesar Rp. 1.916.000,00 dimana lebih murah di algoritma 2, dan selisih biaya yang dibutuhkan oleh *backhoe loader* Holland B 90B sebesar Rp. 3.832.000,00 dimana lebih murah di algoritma 1. Sedangkan untuk biaya pada penerjunan *motor grader* dan ke dua *excavator* adalah sama. Hal ini menunjukkan bahwa meski terdapat perbedaan di total waktu penerjunan, total waktu

penanganan serta total waktu tempuh namun ke dua algoritma tersebut memiliki total biaya yang sama. Hal ini diakibatkan karena sistem pembiayaannya yang dihitung harian. Sehingga, meski total waktu penerjunannya terdapat selisih tetapi jika lama hari kerjanya sama, maka biaya yang dikeluarkanpun akan sama.

4.5 Pengujian Algoritma

Setelah disusun algoritma untuk menyelesaikan studi kasus terkait penanganan bencana di Kabupaten Pacitan, selanjutnya algoritma-algoritma tersebut akan diuji kedalam beberapa skenario. Dimana skenario ini diperoleh berdasarkan random data yang dibantu menggunakan *microsoft excel*. Tujuan dari hal ini adalah untuk menguji, bagaimana algoritma yang telah disusun jika diaplikasikan dengan studi kasus yang berbeda.

4.5.1 Random Data

Tahap yang pertama kali dilakukan dalam pengujian algoritma ini adalah tahap random data. Dimana data yang dirandom diperoleh dari data yang telah tersedia. Untuk diketahui, dalam pengujian algoritma ini akan dibuat tiga macam skenario, dimana tiap skenario akan dilakukan beberapa random data terkait jumlah lokasi bencana yang akan ditangani oleh *excavator*, jumlah lokasi bencana yang akan ditangani oleh alat berat non-*excavator*, jumlah lokasi vital yang ditangani oleh *excavator*, jumlah lokasi vital yang ditangani oleh alat berat non-*excavator*, serta jumlah hari kejadian.

Skenario 1 dan skenario 2 akan menggunakan batasan seperti pada studi kasus, dimana jumlah lokasi bencana yang akan ditangani oleh *excavator* berada diantara 1 hingga 9, jumlah lokasi bencana yang akan ditangani oleh alat berat non-*excavator* berada diantara 1 hingga 25, jumlah lokasi vital yang ditangani oleh *excavator* tidak lebih dari 1, jumlah lokasi vital yang ditangani oleh alat berat non-*excavator* tidak lebih dari 1, serta batasan jumlah hari kejadiannya selama 2 hari. Sedangkan untuk skenario 3 akan menggunakan kondisi yang lebih berat dari pada studi kasus, dimana untuk jumlah lokasi akan dirandom dengan batasan dua kali lipat dari studi kasus, jumlah lokasi vital akan dirandom dengan batasan sejumlah lokasi yang harus ditangani tersebut, serta jumlah hari kejadiannya akan dirandom dengan batasan sampai satu minggu. Berdasarkan hal tersebut, maka jumlah lokasi bencana yang akan ditangani oleh *excavator* berada diantara 1 hingga 18, jumlah lokasi bencana yang akan ditangani oleh alat berat non-*excavator* berada diantara 1 hingga 50, jumlah lokasi vital yang ditangani oleh *excavator* tidak lebih dari jumlah lokasi

bencana yang akan ditangani alat berat tersebut, jumlah lokasi vital yang ditangani oleh alat berat non-*excavator* tidak lebih dari jumlah lokasi bencana yang akan ditangani alat berat tersebut, serta batasan jumlah hari kejadiannya selama 7 hari. Berdasarkan penjelasan tersebut berikut ini merupakan hasil dari random data dari setiap skenario.

Tabel 4.45
Random Data Skenario

Random Ke	I	II	III
Jumlah Kejadian	32	4	27
Banyak Hari Kejadian	2	2	6
Jumlah Lokasi Vital	1	1	8
Jumlah Lokasi Bencana Untuk <i>Excavator</i>	8	3	8
Jumlah Lokasi Bencana Untuk Non- <i>Excavator</i>	24	1	19
Jumlah Lokasi Vital Untuk <i>Excavator</i>	1	0	3
Jumlah Lokasi Vital Untuk Non- <i>Excavator</i>	0	1	5

Selanjutnya untuk menentukan lokasi mana saja yang akan digunakan dalam pengujian di setiap skenario, maka akan digunakan *solver* untuk memilih lokasi-lokasi tersebut, dengan batasan yang telah ada pada Tabel 4.45. Hasil dari *solver* inilah yang nantinya akan digunakan dalam pengujian.

4.5.2 Skenario 1

Berdasarkan Tabel 4.45, skenario 1 memiliki 32 kejadian bencana, yang terdiri dari 8 lokasi bencana untuk *excavator*, 24 lokasi bencana untuk non-*excavator*, 1 lokasi vital yang termasuk ke dalam 8 lokasi bencana untuk *excavator* serta rentang waktu kejadian selama 2 hari yang menjadikan 32 bencana ini nantinya tidak akan terjadi pada satu hari yang sama, namun akan ada bencana yang terjadi pada hari pertama, sedangkan bencana yang lain akan terjadi pada hari selanjutnya. Pada skenario 1 ini hanya akan ada lokasi vital untuk *excavator*, sedangkan tidak ada lokasi vital yang membutuhkan alat berat non-*excavator* untuk melakukan penanganan. Pada Tabel 4.46 ini dapat diketahui bahwa terdapat dua lokasi yang tidak terpilih dalam skenario 1, yakni lokasi 2 dan 3. Pada skenario 1 ini, hampir memiliki kondisi yang sama seperti pada studi kasus yang diangkat, namun lokasi vital untuk alat berat *excavator* hanya terdapat satu lokasi, yakni berada pada lokasi 28. Meski demikian, lokasi penanganan yang berbeda akan menjadi hal baru dalam pengujian algoritma ini. Sebagai contoh yang berbeda pada skenario 1 ini dengan kondisi *existing* adalah, pada kondisi *existing* lokasi 26 dan lokasi 27 dibutuhkan penanganan menggunakan *excavator*, sedangkan pada skenario ini sebaliknya, pada kondisi *existing* lokasi 34 dibutuhkan penanganan menggunakan alat berat selain *excavator*, namun pada skenario ini kebutuhan penanganannya menggunakan *excavator*.

Tabel 4.46
Hasil *Solver* Skenario 1

ID	Jumlah Kejadian	Lokasi Untuk Excavator	Lokasi Vital Untuk Excavator	Lokasi Untuk Non-Excavator	Lokasi Vital Untuk Non-Excavator	Hari Kejadian
4	1	0	-	1	-	2
5	1	0	-	1	-	2
6	1	0	-	1	-	2
7	1	0	-	1	-	1
8	1	0	-	1	-	1
9	1	0	-	1	-	1
10	1	0	-	1	-	1
11	1	0	-	1	-	2
12	1	0	-	1	-	1
13	1	0	-	1	-	1
14	1	0	-	1	-	2
15	1	0	-	1	-	2
16	1	0	-	1	-	2
17	1	0	-	1	-	2
18	1	0	-	1	-	1
19	1	0	-	1	-	1
20	1	0	-	1	-	1
21	1	0	-	1	-	1
22	1	0	-	1	-	1
23	1	0	-	1	-	2
24	1	0	-	1	-	2
25	1	0	-	1	-	1
26	1	0	-	1	-	2
27	1	0	-	1	-	2
28	1	1	1	0	-	2
29	1	1	0	0	-	1
30	1	1	0	0	-	1
31	1	1	0	0	-	1
32	1	1	0	0	-	2
33	1	1	0	0	-	1
34	1	1	0	0	-	2
35	1	1	0	0	-	1
Total	32	8	1	24	0	

4.5.2.1 Algoritma 1 Skenario 1

Pengujian algoritma pada skenario 1 ini akan menggunakan algoritma 1 yang telah disesuaikan dengan studi kasus sebelumnya. Dengan lokasi dan beberapa data yang

berbeda berikut ini akan ditunjukkan bagaimana penanganan yang dilakukan, sedangkan untuk melihat lebih rinci penerjunannya dapat dilihat pada Lampiran 29.

1. *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H

Pengujian dengan menggunakan algoritma 1 pada skenario 1 ini membuat *motor grade* Mitsubishi MG 3H melakukan penanganan pada lokasi 26 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.47, dimana lokasi bencana tersebut terjadi pada hari kedua.

Tabel 4.47

Rute *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 1 Skenario 1

Rute	1	26	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	8,143	
Waktu Penanganan (menit)		150	
Waktu Idle (menit)	420	0	
ID Idle	5, 19, 6,17		

Hal ini terjadi karena dengan menggunakan algoritma 1, alat berat yang diterjunkan terlebih dahulu adalah alat berat yang *available* dengan kapasitas terbesar terlebih dahulu, selain itu dengan menggunakan algoritma 1 model jalur yang digunakan adalah model yang terbentuk dari *minimum spanning tree*. Sehingga ketika ada lokasi bencana yang belum tertangani namun jalurnya masih tertutup maka alat berat yang *available* lainnya akan terjadi proses *idle* dan inilah yang terjadi pada *motor grader* MG 3H dan membuatnya baru melakukan penanganan pada hari ke dua ketika terjadi bencana di lokasi 26.

2. *Backhoe loader* Holland B 90B

Pada Tabel 4.48 dapat dilihat jika *backhoe loader* Holland B 90B melakukan penanganan pada tiga lokasi bencana yakni lokasi 15 yang terjadi pada hari pertama sedangkan dua lokasi lainnya yaitu lokasi 12 dan 11 yang bencananya terjadi pada hari ke dua. Pada waktu penerjunan *backhoe loader* ini, alat berat tersebut sempat terjadi proses *idle* dimana proses tersebut terjadi setelah melakukan penanganan pada lokasi 15 pada hari pertama. Lama waktu *idle* selama 327,887 menit tersebut terjadi lantaran pada hari pertama lokasi-lokasi yang belum tertangani jalurnya masih tertutup dan sedang dilakukan penanganan oleh alat berat yang lain. Sehingga *backhoe loader* harus menunggu sampai jalur tersebut terbuka. Namun tidak sampai selama itu, *backhoe loader* langsung melakukan penanganan di hari ke dua setelah pada hari

tersebut lokasi bencana bertambah, dan *minimum spanning tree* yang terbentuk memberikan model jalur yang dapat dilalui oleh *backhoe loader* untuk melakukan penanganan pada lokasi bencana yang lain, yaitu lokasi 12 dan 11.

Tabel 4.48

Rute *Backhoe Loader* Holland B 90B Algoritma 1 Skenario 1

Rute	1	15	12	11	1
Waktu Tempuh (menit)	18,113	19,111	26,981	64,205	
Waktu Penanganan (menit)		74	2.154	462	
Waktu Idle (menit)		327,887	0	0	
ID Idle		15			

3. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Tabel 4.49

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 1

Rute	1	5	19	6	17	22	27
Waktu Tempuh (menit)	6,106	3,79	4,735	4,735	0,967	44,415	26,018
Waktu Penanganan (menit)		24	139	50	445	45	45
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	0	0
ID Idle							
Rute	8	21	20	7	16	24	1
Waktu Tempuh (menit)	23,806	4,475	12,547	28,107	47	125,393	
Waktu Penanganan (menit)	167	50	139	445	167	6	
Waktu Idle (menit)	0	0	0	0	0	0	
ID Idle							

Rute yang dilalui *wheel loader* Komatsu WA 200-5 yang ditunjukkan pada Tabel 4.49 terlihat tidak ada halangan berupa proses *idle*. Alat berat tersebut melakukan penanganan pada 12 lokasi bencana, dimana lokasi 5, 19, 6 dan 17 dikerjakan pada hari pertama ketika lokasi-lokasi tersebut terjadi bencana, lokasi 22, 27, dan 8 dilakukan penanganan pada hari kedua, selanjutnya lokasi 21, 20 dan 7 dilakukan

penanganan pada hari ketiga dan membutuhkan waktu penanganan hingga hari ke lima, selanjutnya lokasi 16 dan 24 dapat diselesaikan pula pada hari ke lima. Dengan hal ini menunjukkan lokasi-lokasi bencana yang terjadi pada hari pertama dapat ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5 selama lima hari penanganan, sedangkan bencana yang terjadi pada hari kedua baru dapat dilakukan penanganan di hari ke lima. Jika dilihat pada Tabel 4.35, proses penanganan yang dilakukan oleh *wheel Loader* Komatsu WA 200-5 paling lama dilakukan untuk menangani lokasi 17 dan lokasi 7, dimana masing-masing membutuhkan waktu 445 menit.

4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1

Berbeda dengan *wheel loader* Komatsu WA 200-5, alat berat *wheel loader* Komatsu WA 180-1 ini mengalami beberapa proses *idle* ketika melakukan penanganan. Tercatat alat berat ini mengalami tiga kali proses *idle*, sesuai Tabel 4.50. Proses *idle* tersebut terjadi ketika alat berat ini hendak menangani lokasi 18 namun harus menunggu lokasi 5 selesai ditangani oleh alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5, kemudian ketika akan menangani lokasi 23 alat berat ini harus menunggu selama 107,626 menit agar lokasi 22 selesai ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5, dan terakhir ketika alat berat tersebut akan menangani lokasi 10 namun harus menunggu selama 105,771 menit agar lokasi 8 selesai dibuka dan lagi-lagi oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5.

Tabel 4.50

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 1 Skenario 1

Rute	1	18	4	25	23
Waktu Tempuh (menit)	11,374	19,591	3,636	38,644	109,033
Waktu Penanganan (menit)		445	50	56	112
Waktu <i>Idle</i> (menit)		30,106	0	0	107,626
ID <i>Idle</i>		5			22
Rute	10	9	13	14	1
Waktu Tempuh (menit)	1,14	21,372	10,903	148,743	
Waktu Penanganan (menit)	445	223	334	84	
Waktu <i>Idle</i> (menit)	105,771	0	0	0	
ID <i>Idle</i>	8				

Pada Tabel 4.50 dapat dilihat jika *wheel loader* Komatsu WA 180-1 ini melakukan penanganan pada beberapa lokasi bencana yang terjadi dihari pertama dan ada beberapa yang terjadi di hari kedua. Lokasi bencana yang terjadi di hari pertama yang ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1 ini diantaranya adalah lokasi 18, 10 dan 14, sedangkan lokasi bencana yang terjadi di hari kedua yang ditangani oleh alat berat tersebut adalah lokasi 4, 25, 23, 9, dan 13. Secara keseluruhan, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 ini mampu menangani keseluruhan lokasi tersebut selama enam hari operasional.

5. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Berdasarkan algoritma 1 ini memberikan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) memiliki tiga lokasi yang akan dilakukan penanganan yakni lokasi 31 dan 35 yang terjadi bencana pada hari pertama, serta lokasi 32 yang terjadi bencana pada hari ke dua. Pada Tabel 4.51 dapat dilihat jika alat berat ini melakukan penanganan paling lama adalah ketika menangani bencana pada lokasi 32, yakni alat berat tersebut membutuhkan waktu penanganan selama 12.500 menit atau hampir selama 30 hari. Hal ini terjadi mengingat alat berat yang *available* saat itu adalah *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), karena *excavator* Komatsu PC 200-6 sedang melakukan penanganan pada lokasi 30. Sehingga *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang harus melakukan penanganan.

Tabel 4.51

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 1 Skenario 1

Rute	1	31	32	35	1
Waktu Tempuh (menit)	38,177	36,413	68,712	97,547	
Waktu Penanganan (menit)		3.750	12.500	1.875	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	
ID Idle					

6. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Excavator Komatsu PC 200-6 melakukan penanganan untuk lokasi bencana yang terjadi pada lokasi 30, 28, 34, 29, serta 33, seperti yang terlihat pada Tabel 4.52. Dimana lokasi 30, 29 dan 33 terjadi bencana ketika hari pertama sedangkan lokasi yang lain terjadi pada hari ke dua. Hal lain yang nampak pada Tabel 4.52 adalah proses *idle* yang dialami oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 ketika akan menangani

lokasi 28 yang notabene adalah lokasi vital yang terdampak bencana pada hari kedua. Namun hal ini terhambat karena lokasi 32 sedang dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang memiliki kapasitas penanganan yang lebih kecil. Hal ini menyebabkan *excavator* Komatsu PC 200-6 harus menunggu hingga hari ke-30 untuk dapat menjangkau lokasi 28. Hal ini menunjukkan kembali, bahwa selisih waktu *available* yang hanya 469 menit (selisih waktu penanganan pertama yang dilakukan kedua alat berat) dapat memberikan dampak yang cukup besar jika yang *available* adalah alat berat yang memiliki kapasitas yang lebih rendah dari yang lain. Sehingga ketika algoritma 1 ini digunakan, perlu dilakukan penyesuaian sehingga hal-hal seperti ini dapat dihindari.

Tabel 4.52

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 1

Rute	1	30	28	34	29	33	1
Waktu Tempuh (menit)	35,217	61,294	27,607	6,343	20,518	48,833	
Waktu Penanganan (menit)		4.219	235	313	625	625	
Waktu Idle (menit)		0	12.070,373	0	0	0	
ID Idle			32				

Jika melihat pada iterasi pertama ini, nampak waktu yang banyak terpakai adalah ketika melakukan penerjunan alat berat berjenis *excavator*. Dimana alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) memiliki waktu penerjunan yang lama ketika melakukan penanganan pada lokasi 32, yakni 12.500 menit. Hal ini menjadi tidak efektif dari segi waktu penanganannya dan menjadi tidak efisien terkait biaya yang nantinya dikeluarkan. Selain itu, dari penerjunan tersebut juga berdampak pada alat berat yang lain, dimana *excavator* Komatsu PC 200-6 harus menunggu selama 12.070,373 menit agar lokasi 32 dapat dilalui dan dapat mencapai lokasi 28, yang merupakan lokasi vital yang sebenarnya perlu dilakukan penanganan yang cepat. Oleh karena itu, diperlukan iterasi lanjutan untuk menemukan solusi yang lebih optimal. Iterasi lanjutan yang diperlukan pada penerjunan ini adalah pada penerjunan alat berat berjenis *excavator*. Berikut ini akan ditunjukkan hasil dari iterasi ke dua yang telah dilakukan. Dimana harapan dari iterasi ke dua ini adalah untuk memperoleh hasil yang lebih optimal, dibandingkan iterasi sebelumnya. Sedangkan untuk alat berat selain *excavator*, dirasa telah mencapai kondisi yang optimal, setidaknya meski ada beberapa proses *idle*, namun tidak lebih dari satu hari operasional.

1. *Excavator Komatsu PC 200-6 (long arm)*

Setelah dilakukan iterasi yang ke dua, diketahui bahwa dengan algoritma 1 ini memberikan hasil yang berbeda untuk rute penanganan dari alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Dimana pada iterasi pertama, alat berat ini menangani lokasi 31, 32 dan 35, sedangkan di iterasi ke dua alat berat ini hanya melakukan penanganan untuk lokasi 31 dan 35 sesuai Tabel 4.53. Berdasarkan hal tersebut, sudah dapat dipastikan bahwa waktu penerjunan dari *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) pada iterasi ke dua lebih singkat dari iterasi pertama. Meski demikian, alat berat ini memiliki waktu *idle* yang terjadi ketika masih dilakukan penanganan pada lokasi 32. Namun tidak selama pada iterasi pertama, waktu *idle* pada iterasi ke dua memiliki waktu yang lebih pendek dari iterasi 1. Hal ini disebabkan karena lokasi 32 dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 yang notabene alat berat berjenis *excavator* dengan kapasitas yang paling besar.

Tabel 4.53

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 1 Skenario 1 Iterasi 2

Rute	1	31	35	1
Waktu Tempuh (menit)	38,177	32,299	98,547	
Waktu Penanganan (menit)		3.750	1.875	
Waktu Idle (menit)		0	0	4.820,835
ID Idle				32

2. *Excavator Komatsu PC 200-6*

Pada iterasi ke dua ini, memberikan beban yang lebih berat untuk *excavator* Komatsu PC 200-6. Hal ini terjadi lantaran pada penerjunannya, alat berat ini melakukan penanganan pada lokasi 32, yang membutuhkan waktu penanganan selama 6.250 menit. Dari segi beban kerja, alat berat ini akan memiliki waktu penerjunan yang lebih lama jika dibandingkan dengan iterasi yang pertama. Namun jika berpikir lebih jauh, hal ini lebih baik dilakukan, mengingat kasus yang ditangani adalah bencana alam yang membutuhkan waktu penanganan secepat mungkin. Hal lain yang terdampak dari iterasi ke dua ini adalah, total waktu penerjunannya menjadi lebih singkat, sehingga dalam penerjunannya dapat lebih optimal. Pada Tabel 4.54 diketahui jika lokasi vital, yakni lokasi 28 dilakukan penanganan setelah lokasi 32. Jika dilihat sekilas, iterasi pertama lebih menguntungkan karena setelah lokasi 30 tertangani, alat berat ini

langsung menuju lokasi 32. Akan tetapi jika dilihat lebih dalam, meski lokasi 28 ditangani setelah lokasi 30 pada iterasi pertama, ternyata penanganan yang dilakukan untuk lokasi 28 baru dapat ditangani setelah lokasi 32 selesai ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), yakni pada hari ke-39. Sedangkan pada iterasi ke dua, lokasi 28 ditangani setelah lokasi 32 yakni pada hari ke-26. Berdasarkan hal tersebut, pada iterasi ke dua ini menunjukkan hal yang positif, karena lokasi vital dapat segera dilakukan penanganan.

Tabel 4.54

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 1 Iterasi 2

Rute	1	30	32	28	34	29	33	1
Waktu Tempuh (menit)	35,217	12,094	49,2	27,607	6,343	20,518	73,833	
Waktu Penanganan (menit)		4.219	6.250	235	313	625	625	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	0	0	0	0	
ID <i>Idle</i>								

4.5.2.2 Algoritma 2 Skenario 1

Pengujian algoritma pada skenario ini akan menggunakan algoritma yang dikembangkan berdasarkan studi kasus penanganan bencana di Kabupaten Pacitan. Dengan lokasi dan beberapa data yang berbeda, berikut ini akan ditunjukkan bagaimana penanganan yang dilakukan, ketika skenario 1 ini diselesaikan menggunakan algoritma 2, sedangkan untuk melihat lebih rinci bagaimana penerjunan yang dilakukan maka dapat dilihat pada Lampiran 30.

1. *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H

Penggunaan algoritma 2 untuk menangani skenario 1 ini membuat *motor grader* Mitsubishi MG 3H melakukan penanganan pada lokasi 4 dan 25, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.55, yang terjadi bencana pada hari ke dua. Namun ketika proses penerjunannya, alat berat ini sempat mengalami *idle* selama satu hari yakni di hari pertama. Hal ini terjadi karena lokasi-lokasi bencana yang belum tertangani jalurnya masih tertutup bencana dan sedang dilakukan penanganan, dan ketika hari kedua, telah muncul bencana baru yang membuat model jalur yang menggunakan *spanning tree* yang terbentuk memberikan jalur kepada alat berat ini untuk dapat menjangkau lokasi bencana yang baru, yakni lokasi 4 dan 25.

Tabel 4.55

Rute *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 2 Skenario 1

Rute	1	4	25	1
Waktu Tempuh (menit)	20,429	3,636	24,065	
Waktu Penanganan (menit)		450	500	
Waktu Idle (menit)	420	0	0	
ID Idle	5, 19, 6, 17			

2. *Backhoe loader* Holland B 90B

Seperti pada *motor grader* MG 3H, *backhoe loader* Holland B 90B ini juga mengalami proses *idle* ketika akan diterjunkan. Alasannya sama yakni karena lokasi-lokasi bencana yang belum tertangani jalurnya masih tertutup bencana dan sedang dilakukan penanganan, dan ketika hari kedua, telah muncul bencana baru yang membuat model jalur yang menggunakan *spanning tree* yang terbentuk memberikan jalur kepada alat berat ini untuk dapat menjangkau lokasi bencana yang baru, yakni lokasi 26, 12 dan 11. Jika melihat Tabel 4.56 tersebut, alat berat *backhoe loader* Holland B 90B ini melakukan penanganan selama tujuh hari atau selama delapan hari ketika dimulainya bencana pada hari pertama.

Tabel 4.56

Rute *Backhoe loader* Holland B 90B Algoritma 2 Skenario 1

Rute	1	26	12	11	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	45,367	26,981	64,205	
Waktu Penanganan (menit)		24	2154	462	
Waktu Idle (menit)	420	0	0	0	
ID Idle	5, 19, 6, 17				

3. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Wheel loader Komatsu WA 200-5 ketika diterjunkan menggunakan algoritma 2 untuk menangani skenario 1, membuat alat berat tersebut melakukan penanganan pada sepuluh lokasi bencana, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.57. Dimana dari sepuluh lokasi bencana tersebut lokasi 5, 19, 6, 17, 22, 10 dan 14 adalah lokasi yang mengalami bencana pada hari pertama, sedangkan lokasi 23, 9 dan 13 merupakan lokasi yang mengalami bencana pada hari ke dua. Alat berat ini sempat mengalami

proses *idle* ketika hendak melakukan penanganan dari lokasi 23 menuju lokasi 10, karena terhambat pada lokasi 8 yang sedang dilakukan penanganan, dimana lama proses *idle* dari alat berat tersebut selama 175,53 menit. Meski demikian, dengan sepuluh bencana yang ditangani dan terdapat dua lokasi yang membutuhkan waktu penanganan selama 445 menit serta adanya proses *idle*, alat berat ini mampu menyelesaikan penanganan dalam waktu enam hari. Dimana lokasi 5, 19, 6 dan 17 dilakukan penanganan pada hari pertama dan selesai di hari ke dua, lokasi 22 dan 23 selesai di hari ke tiga, lokasi 10 selesai hingga hari ke empat, lokasi 9 ditangani hingga hari ke lima, lokasi 13 ditangani hingga hari ke enam, dan yang terakhir lokasi 14 selesai dilakukan penanganan pada hari ke enam pula.

Tabel 4.57

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 2 Skenario 1

Rute	1	5	19	6	17	22
Waktu Tempuh (menit)	6,106	3,790	4,735	0,643	0,967	14,038
Waktu Penanganan (menit)		24	139	50	445	45
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	0	0	0
ID <i>Idle</i>						
Rute	23	10	9	13	14	1
Waktu Tempuh (menit)	109,033	1,140	21,372	10,903	147,603	
Waktu Penanganan (menit)	112	445	223	334	84	
Waktu <i>Idle</i> (menit)	0	175,53	0	0	0	
ID <i>Idle</i>		8				

4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1

Wheel loader Komatsu WA 180-1 melakukan penanganan pada sembilan lokasi bencana, dimana lokasi 15, 18, 27, 8, 21, 20, 7 dan 16 merupakan bencana yang terjadi pada hari pertama, sedangkan lokasi 24 merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari ke dua. Berdasarkan Tabel 4.58 *wheel loader* Komatsu WA 180-1 sempat mengalami proses *idle* selama 172,641 menit yakni ketika *wheel loader* Komatsu WA 200-5 sedang melakukan penanganan pada lokasi 17 dan 22 yang sejatinya merupakan jalur yang harus dilewati oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1 untuk menjangkau

lokasi 27 dari lokasi 18. Pada penerjunannya, alat berat ini melakukan penangan paling lama ketika melakukan penanganan pada lokasi 18 dan lokasi 7, dimana kedua lokasi tersebut sama-sama membutuhkan waktu penanganan selama 445 menit. Meski dibutuhkan waktu yang lama untuk menangani ke dua lokasi tersebut, namun secara keseluruhan alat berat ini mampu melakukan penanganan untuk sembilan lokasi tersebut dengan waktu hampir selama lima hari.

Tabel 4.58

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 2 Skenario 1

Rute	1	15	18	27	8	21
Waktu Tempuh (menit)	18,113	29,487	63,55	26,018	23,806	4,475
Waktu Penanganan (menit)		54	445	45	167	50
Waktu Idle (menit)		0	0	172,641	0	0
ID Idle				17, 22		
Rute	20	24	7	16	1	
Waktu Tempuh (menit)	6,346	18,893	28,107	159,701		
Waktu Penanganan (menit)	139	6	445	167		
Waktu Idle (menit)	0	0	0	0		
ID Idle						

5. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) melakukan penanganan pada dua lokasi jika diterjunkan berdasarkan algoritma 2 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.59, yakni lokasi 31 dan 35 dimana keduanya sama-sama terjadi pada hari pertama. Alat berat ini sempat terhambat perjalanannya ketika lokasi 32 sedang dilakukan penanganan oleh alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 sehingga alat berat ini mengalami proses *idle* selama 5.002,094 menit. Namun hal ini tidak terlalu berpengaruh karena setelahnya, alat berat ini tidak melakukan penanganan pada lokasi lain, melainkan hanya akan kembali menuju depot. Sedangkan secara keseluruhan, alat berat ini selesai diterjunkan untuk melakukan penanganan selama hampir 14 hari, atau jika dihitung sampai kembali ke depot maka dibutuhkan waktu selama hampir 26 hari.

Tabel 4.59

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) Algoritma 2 Skenario 1

Rute	1	31	35	1
Waktu Tempuh (menit)	38,177	32,299	98,547	
Waktu Penanganan (menit)		3.750	1.875	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	5.002,094
ID <i>Idle</i>				32

6. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Penerjunan dengan menggunakan algoritma 2 pada skenario 1 ini membuat *excavator* PC 200-6 melakukan penanganan pada enam lokasi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.60, dimana lokasi 30, 29 dan 33 merupakan lokasi yang terjadi bencana pada hari pertama sedangkan lokasi 32, 28, dan 34 merupakan lokasi yang terjadi bencana pada hari kedua.

Tabel 4.60

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 2 Skenario 1

Rute	1	30	32	28	34	29	33	1
Waktu Tempuh (menit)	35,217	12,094	49,200	27,607	6,343	20,518	73,833	
Waktu Penanganan (menit)		4.219	6.250	235	313	625	625	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	0	0	0	0	
ID <i>Idle</i>								

Alat berat ini melakukan penanganan pula untuk lokasi 28 yang merupakan lokasi vital yang mengalami bencana pada hari ke dua. Untuk menangani lokasi vital ini, alat berat tersebut perlu waktu selama 23 hari untuk menjangkaunya. Hal ini dikarenakan ketika dari lokasi 30 hendak menuju lokasi 28, jalurnya tertutup oleh bencana yang terjadi di lokasi 32, yang membutuhkan waktu penanganan oleh alat berat ini selama 6.250 menit atau selama hampir 15 hari. Meski demikian hal ini cukup baik jika dibandingkan dengan kondisi yang terjadi pada skenario 1 ketika menggunakan algoritma 1, dimana untuk menangani lokasi 28 harus dibuka terlebih dahulu lokasi 32 dengan lama waktu penanganan selama 30 hari.

4.5.2.3 Perbandingan Skenario 1

Setelah mengetahui bagaimana penerjunan alat berat dari setiap algoritma untuk skenario 1, maka selanjutnya akan dihitung berapa biaya yang harus dikeluarkan berdasarkan algoritma yang digunakan. Untuk diketahui, perhitungan biaya yang ditunjukkan untuk algoritma 1, merupakan biaya yang diperoleh setelah dilakukan tahap iterasi yang ke dua, yakni iterasi yang memberikan hasil yang lebih baik dari iterasi sebelumnya. Pada Tabel 4.61 dapat dilihat jika total biaya yang dibutuhkan untuk menangani bencana pada skenario 1 dengan algoritma 1 sejumlah Rp. 98.130.000,00.

Tabel 4.61
Rekap Algoritma 1 Skenario 1

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	332,094	1.722	2.054,094	5	150.000	808.000	-	-	4.790.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	364,436	1.749	2.113,436	6		808.000	-	-	5.748.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	16,286	150	166,286	1		808.000	-	-	958.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	224,812	12.267	12.491,812	30		1.212.000	2.000.000	7	54.860.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	169,023	5.625	5.794,023	14		1.212.000	2.000.000	3	25.068.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	128,410	2.690	2.818,410	7		808.000	-	-	6.706.000,00
Total	1.235,061	24.203	25.438,061	63				10	98.130.000,00

Dari pengeluaran sebesar Rp 98.130.000,00 ini, biaya yang dikeluarkan paling banyak adalah untuk pembiayaan *excavator* Komatsu PC 200-6 yakni sebesar Rp. 54.860.000,00. Hal ini terjadi karena mengingat bahwa alat berat ini menangani lokasi 32 yang membutuhkan waktu penanganan selama 6.250 menit, sehingga biaya yang dibutuhkanpun juga semakin besar. Biaya terbesar kedua yang dikeluarkan adalah untuk pembiayaan alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), yakni sebesar Rp. 25.068.000,00 yang digunakan untuk menangani dua lokasi bencana selama hampir 14 hari. Selanjutnya terdapat *backhoe loader* Holland B 90B yang membutuhkan biaya sebesar Rp. 6.706.000,00, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 sebesar Rp. 5.748.000,00, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 sebesar Rp. 4.790.000,00 dan *motor grader* Mitsubishi MG 3 H yakni sebesar Rp. 958.000,00. Dari penjelasan tersebut, terlihat bahwa ada hal yang lebih efektif dan efisien terjadi, dimana alat berat yang memiliki kapasitas yang lebih besar yakni *excavator* Komatsu PC 200-6 diterjunkan lebih lama untuk menangani lokasi 32 yang berdampak pada biaya yang relatif kecil jika dibandingkan dengan iterasi pertama dimana *excavator* yang berjenis *long arm*-lah yang diterjunkan ke lokasi tersebut.

Sedangkan jika menggunakan algoritma 2 untuk menangani bencana pada skenario 1 ini biaya yang diperlukan adalah sebesar Rp. 100.046.000,00, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.62, dimana lebih mahal Rp. 554.000,00 jika dibandingkan dengan menggunakan algoritma 1. Dimana pada algoritma 2 ini, biaya terbesar adalah untuk pembiayaan alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 yakni sebesar Rp. 54.860.000,00. Biaya ini digunakan alat berat tersebut untuk menangani enam lokasi bencana selama 30 hari. Biaya terbesar selanjutnya adalah untuk pembiayaan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yakni sebesar Rp. 25.068.000,00 yang digunakan untuk menangani dua lokasi bencana selama 14 hari. Kemudian terdapat *backhoe loader* Holland B 90B sebesar Rp. 6.706.000,00, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 sebesar Rp. 5.748.000,00, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 sebesar Rp. 4.790.000,00 dan *motor grader* Mistubishi MG 3H sebesar Rp. 2.874.000,00.

Pada skenario 1 ini, terlihat bahwa algoritma 1 lebih unggul dari algoritma 2. Baik dari segi total biaya yang dikeluarkan, dimana algoritma 1 lebih murah Rp. 1.916.000,00 dari pada algoritma 2, kemudian dari segi total waktu penerjunan secara kumulatif, dimana algoritma 1 membutuhkan waktu 63 hari untuk mengatasi bencana yang terjadi selama dua hari, sedangkan algoritma 2 membutuhkan waktu selama 65 hari. Selain dari dua segi tersebut, terdapat satu lagi hal yang membuat algoritma 1 lebih unggul dari pada algoritma 2 pada skenario 1 ini, yakni pada segi lamanya waktu yang dibutuhkan untuk

menyelesaikan bencana yang terjadi, dimana algoritma 1 membutuhkan waktu hingga hari ke-30 sedangkan algoritma 2 membutuhkan waktu yang sama, yakni sampai hari ke-30 juga untuk menyelesaikan seluruh bencana yang terjadi. Hal ini memperlihatkan bahwa algoritma 1 lebih menguntungkan, dimana dengan rentang waktu yang sama yakni hingga hari ke-30, akan tetapi algoritma 1 memberikan biaya yang lebih kecil sebagai akibat dari total hari kerja kumulatifnya yang juga lebih kecil. Dari sini dapat dikatakan pula bahwa penggunaan alat berat pada algoritma 1 untuk menangani skenario 1 ini memiliki tingkat efektivitas yang lebih baik dari algoritma 2, sehingga biaya yang dikeluarkanpun menjadi lebih efisien.

Tabel 4.62

Rekap Algoritma 2 Skenario 1

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjuanan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	320,33	1.901	2.221,33	6	150.000	808.000			5.748.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	378,497	1.518	1.896,497	5		808.000			4.790.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	48,130	950	998,130	3		808.000			2.874.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	224,811	12.267	12.491,811	30		1.212.000	2.000.000	7	54.860.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	169,023	5.625	5.794,023	14		1.212.000	2.000.000	3	25.068.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	144,696	2.640	2.784,696	7		808.000			6.706.000,00
Total	1.285,488	24.901	26.186,488	65				10	100.046.000

4.5.3 Skenario 2

Berdasarkan Tabel 4.45, skenario 2 memiliki 4 kejadian bencana, yang terdiri dari 3 lokasi bencana untuk *excavator*, 1 lokasi bencana untuk non-*excavator*, 1 lokasi vital yang merupakan lokasi bencana yang harus ditangani oleh non-*excavator* serta rentang waktu kejadian selama 2 hari. Secara sederhana, pada skenario 2 ini menunjukkan kondisi yang jauh lebih ringan untuk dihadapi, jika dibandingkan antara kondisi bencana yang terjadi saat ini maupun kondisi bencana yang terjadi pada skenario 1. Untuk mengetahui lokasi mana-mana saja yang terpilih untuk skenario 1 ini dapat dilihat pada Tabel 4.63.

Tabel 4.63
Hasil *Solver* Skenario 2

ID	Jumlah Kejadian	Lokasi Untuk <i>Excavator</i>	Lokasi Vital Untuk <i>Excavator</i>	Lokasi Untuk Non- <i>Excavator</i>	Lokasi Vital Untuk Non- <i>Excavator</i>	Hari Kejadian
32	1	0	-	1	1	1
33	1	1	0	0	-	2
34	1	1	0	0	-	1
35	1	1	0	0	-	2
Total	4	3	0	1	1	

4.5.3.1 Algoritma 1 Skenario 2

Seperti sebelumnya, skenario 2 akan dilakukan penanganan berdasarkan algoritma 1. Berikut merupakan penanganan yang dilakukan ketika menggunakan algoritma 1 untuk menanganani bencana pada skenario 2 dan untuk penerjuran lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 31.

1. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Tabel 4.64
Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 2

Rute	1	32	1
Waktu Tempuh (menit)	29,835	29,835	
Waktu Penanganan (menit)		2.223	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	
ID <i>Idle</i>			

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.64, untuk lokasi bencana yang membutuhkan penanganan menggunakan alat berat non-*excavator* hanyalah lokasi 32 yang juga merupakan lokasi vital yang terdampak bencana. Algoritma 1 yang digunakan untuk

penerjunan alat berat ini menunjuk *wheel loader* Komatsu WA 200-5 untuk menangani lokasi yang terdampak bencana tersebut, karena alat berat ini termasuk *available* dan memiliki kapasitas terbesar diantara alat berat non *excavator* yang lain. Berdasarkan Tabel 4.64 diketahui bahwa alat berat ini melakukan penanganan selama 2.223 menit atau hampir selama enam hari untuk menormalkan kembali lokasi yang terdampak bencana tersebut.

2. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.63 bahwa lokasi yang mengalami bencana pada hari pertama dan membutuhkan penanganan menggunakan *excavator* hanyalah lokasi 34, sedangkan lokasi 33 dan 35 terjadi bencana ketika hari ke dua. Pada Tabel 4.65 ini menunjukkan bahwa *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) hanya menangani lokasi 33 yang terjadi bencana ketika hari ke dua. Proses penanganan memakan waktu 1.250 menit, atau hampir selama empat hari.

Tabel 4.65

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) Algoritma 1 Skenario 2

Rute	1	33	1
Waktu Tempuh (menit)	60,818	60,818	
Waktu Penanganan (menit)		1.250	
Waktu Idle (menit)		0	
ID Idle			

3. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, dengan melihat Tabel 4.66 dapat diketahui bahwa pada hari pertama alat berat ini menangani lokasi 34 dan membutuhkan waktu hanya 313 menit, dan ketika hari pertama hanya terjadi bencana pada lokasi 34 sehingga ketika penanganan telah selesai, maka alat berat tersebut kembali menuju depot. Selanjutnya di hari ke dua alat berat ini melakukan penanganan pada lokasi 35 dengan memakan waktu selama 938 menit. Secara keseluruhan alat berat ini membutuhkan waktu hingga hari ke empat agar seluruh wilayah bencana yang alat berat ini tangani dapat kembali normal. Sedikit menjelaskan kenapa alat berat ini yang melakukan penanganan pada lokasi 35 dan bukan lokasi 33, hal ini dikarenakan pada algoritma 1 akan melakukan penerjunan berdasarkan bobot terbesar akan ditangani oleh alat berat dengan kecepatan penanganan tercepat, sehingga lokasi 35 akan ditangani oleh

excavator Komatsu PC 200-6, karena jika dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) maka waktu yang diperlukan akan lebih lama, yakni selama 1.875 menit.

Tabel 4.66

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 2

Rute	1	34	1	35	1
Waktu Tempuh (menit)	33,038	33,038	40,558	40,558	
Waktu Penanganan (menit)		313		938	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	
ID Idle					

Setelah dilakukan iterasi pertama menggunakan algoritma 1 ini, didapatkan bahwa permasalahan bencana pada skenario 2 ini dapat selesai dengan menggunakan tiga alat berat saja dengan waktu penyelesaian hingga hari ke enam. Selanjutnya akan dicoba melakukan iterasi lanjutan untuk mengetahui apakah akan ditemukan solusi yang lebih baik dari solusi pertama ini. Berikut merupakan hasil dari iterasi yang ke dua.

1. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Tabel 4.67

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 2 Iterasi 2

Rute	1	34	1	35	33	1
Waktu Tempuh (menit)	33,038	33,038	40,558	101,376	60,818	
Waktu Penanganan (menit)		313		938	625	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	
ID Idle						

Pada iterasi yang ke dua ini hanya terjadi perbedaan pada penerjunan alat berat berjenis *excavator*. Dimana sebelumnya dua jenis *excavator* sama-sama diterjunkan, namun pada iterasi yang ke dua ini hanya *excavator* Komatsu PC 200-6 saja yang diterjunkan. Pada Tabel 4.67 dapat dilihat bagaimana rute dan lamanya waktu penerjunan dari alat berat tersebut. Seperti pada iterasi pertama, alat berat ini melakukan penanganan pada lokasi 34 dan kemudian kembali ke depot, yang menunjukkan bahwa tidak ada lagi lokasi bencana yang terjadi pada hari pertama.

Selanjutnya di hari yang ke dua, alat berat ini melakukan penanganan untuk lokasi 35 yang membutuhkan waktu penanganan selama 938 menit, atau hampir tiga hari dan berlanjut ke lokasi 33 dengan lama penanganan 625 menit, sehingga penanganan dan penerjunan selesai pada hari ke enam.

Jika melihat hasil dari iterasi pertama dan yang ke dua, sebenarnya setiap hasil iterasi memiliki keunggulan masing-masing. Pada iterasi pertama bisa jadi unggul karena lokasi bencana yang membutuhkan penanganan dengan *excavator* semuanya dapat diselesaikan hingga hari ke lima, sedangkan pada iterasi ke dua, lokasi bencana tersebut baru selesai ditangani pada hari ke enam. Selanjutnya, pada iterasi ke dua bisa jadi lebih unggul dibandingkan iterasi pertama, karena alat berat jenis *excavator* yang diterjunkan hanya satu jenis, yakni *excavator* Komatsu PC 200-6 yang memiliki kapasitas terbesar. Hal ini mengakibatkan total waktu penerjunan nantinya juga akan lebih kecil dari pada iterasi yang pertama. Selain itu, karena total waktu penerjunan menjadi semakin kecil, maka biaya yang dikeluarkanpun akan semakin rendah. Jika melihat bahwa permasalahan yang ditangani adalah kasus bencana alam, sehingga membutuhkan penanganan yang segera, maka iterasi pertama akan menjadi solusi yang baik jika diterapkan. Namun jika melihat iterasi yang ke dua secara keseluruhan, pada iterasi tersebut meski *excavator* Komatsu PC 200-6 dilakukan penerjunan hingga hari ke enam, sebenarnya rentang waktunya sama seperti alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5, baik pada iterasi pertama maupun yang ke dua. Sehingga dengan rentang waktu yang sama dapat dilakukan penerjunan dengan waktu yang lebih pendek dan biaya yang dikeluarkanpun menjadi lebih murah. Oleh karena itu, solusi dari iterasi yang ke dua akan digunakan sebagai solusi utama.

4.5.3.2 Algoritma 2 Skenario 2

Pada pengujian kali ini akan digunakan algoritma 2. Skenario 2 yang merupakan skenario dengan kondisi yang lebih mudah dari kondisi *existing* maupun skenario 1 ini, akan dilakukan penanganan berdasarkan algoritma 2. Berikut merupakan penanganan yang dilakukan ketika menggunakan algoritma 2 untuk menanganani skenario 2, sedangkan penerjunan lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 32.

1. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Secara garis besar, rute yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma 2 pada skenario 2 ini menghasilkan hasil yang sama ketika menggunakan algoritma 1 untuk melakukan penerjunan pada skenario 2 pada tahap iterasi yang pertama. Pada alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 seperti pada Tabel 4.68, hasilnya sama seperti

pada algoritma 1 untuk skenario 2, dimana alat berat ini dilakukan penerjunan untuk menangani lokasi 32. Dimana lokasi 32 yang merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari pertama, dan lokasi ini dilakukan penanganan pada hari itu pula oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan selesai pada hari ke enam.

Tabel 4.68

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 2 Skenario 2

Rute	1	32	1
Waktu Tempuh (menit)	29,835	29,835	
Waktu Penanganan (menit)		2.223	
Waktu Idle (menit)		0	
ID Idle			

2. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Pada penerjunan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) juga dihasilkan hasil yang sama seperti pada algoritma 1 untuk skenario 2 di iterasi yang pertama. Pada Tabel 4.69, alat berat ini sama-sama menangani lokasi 33 yang membutuhkan waktu penanganan selama 1.250 menit, sehingga membutuhkan waktu penanganan selama hampir empat hari atau hingga memasuki hari ke lima, karena bencana di lokasi 33 terjadi pada hari ke dua. Sehingga berdasarkan hal ini, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) diterjunkan pada hari ke dua menuju lokasi 33 dari *depot* dengan waktu tempuh selama 60,818 menit dan selesai pada hari ke lima sebelum menuju *depot*.

Tabel 4.69

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 2 Skenario 2

Rute	1	33	1
Waktu Tempuh (menit)	60,818	60,818	
Waktu Penanganan (menit)		1.250	
Waktu Idle (menit)		0	
ID Idle			

3. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Hal yang sama juga ketika dilakukan penerjunan alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.70, dimana alat berat ini menangani dua

lokasi, yakni lokasi 34 yang terjadi bencana di hari pertama dan membutuhkan penanganan selama 313 menit dan lokasi 35 yang terjadi bencana di hari selanjutnya yang membutuhkan penanganan selama 938 menit. Pada penerjunannya, alat berat ini tidak secara langsung melakukan penanganan pada ke dua lokasi tersebut. Namun dikerjakan dengan sempat kembali menuju *depot*. Hal ini terjadi karena pada hari pertama ketika selesai melakukan penanganan pada lokasi 34, tidak ada lokasi lain yang belum tertangani, sehingga membuat alat berat ini kembali diposisikan menuju *depot*. Kemudian ketika hari ke dua, alat berat ini diterjunkan kembali untuk menangani lokasi 35.

Tabel 4.70

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 2 Skenario 2

Rute	1	34	1	35	1
Waktu Tempuh (menit)	33,038	33,038	40,558	40,558	
Waktu Penanganan (menit)		313		938	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	0	
ID <i>Idle</i>					

4.5.3.3 Perbandingan Skenario 2

Pada algoritma 1 untuk menangani skenario 2 ini, dipilih iterasi yang ke dua sebagai solusi yang terbaik. Oleh karena itu pada perbandingan ini, algoritma 1 akan memakai hasil yang diperoleh dari iterasi yang ke dua. Pada Tabel 4.71 terlihat bahwa dengan menggunakan algoritma 1 dengan iterasi ke dua untuk menangani skenario 2 ini dibutuhkan total waktu penerjunan selama 4.427,498 menit. Berdasarkan hal tersebut, biaya yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 21.920.000,00. Dimana *wheel loader* Komatsu WA 200-5 membutuhkan biaya sebesar Rp. 5.748.000,00 untuk menangani lokasi 32, dan *excavator* Komatsu PC 200-6 membutuhkan biaya sebesar Rp. 18.172.000,00 dengan penyewaan truk sebanyak lima kali.

Mengingat bahwa hasil penerjunan alat berat dari algoritma 1 iterasi 1 maupun algoritma 2 untuk skenario 2 tidak ada perbedaan, sehingga jika dilihat pada Tabel 4.72 terkait biaya, untuk kedua algoritma ini tidak terdapat perbedaan. Baik algoritma 1 pada iterasi pertama maupun algoritma 2 sama-sama membutuhkan biaya sebesar Rp. 28.644.000,00. Dimana biaya ini dikeluarkan untuk pembiayaan alat berat yang melakukan

penanganan selama 14 hari secara kumulatif, dengan rincian Rp. 5.748.000,00 untuk *wheel loader* Komatsu WA 200-5 yang dilakukan penerjunan selama enam hari, Rp. 13.448.000,00 untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 yang dilakukan penerjunan selama empat hari, serta Rp. 9.448.000,00 untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang dilakukan penerjunan selama empat hari.

Tabel 4.71

Rekap Algoritma 1 Skenario 2

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	59,67	2.223	2.282,67	6	150.000	808.000			5.748.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	268,828	1.876	2.144,828	6		1.212.000	2.000.000	5	18.172.000,00
Total	328,498	4.099	4.427,498	12				5	23.920.000,00

Tabel 4.72

Rekap Algoritma 2 Skenario 2

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	59,67	2.223	2.282,67	6	150.000	808.000			5.748.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	147,192	1.251	1.398,192	4		1.212.000	2.000.000	4	13.448.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	121,636	1.250	1.371,636	4		1.212.000	2.000.000	2	9.448.000,00
Total	328,498	4.724	5.052,498	14				6	28.644.000,00

Jika dibandingkan, algoritma 1 pada iterasi ke dua memberikan total biaya yang lebih rendah dari pada total biaya pada algoritma 2. Dimana selisih diantara ke duanya adalah sebesar Rp. 4.724.000,00. Selisih tersebut terjadi pada pembiayaan alat berat berjenis *excavator*. Pada algoritma 1 iterasi ke dua, dibutuhkan biaya sebesar Rp. 18.172.000,00 untuk menangani tiga lokasi bencana, sedangkan pada algoritma yang ke dua dibutuhkan biaya sebesar Rp. 22.896.000,00. Tidak hanya total biaya, dari sisi total waktu penerjunan, total waktu penanganan hingga total hari kerjanya, algoritma 1 iterasi ke dua memberikan hasil yang lebih singkat daripada hasil yang diperoleh dari algoritma 2. Meski demikian, ternyata waktu tempuh dari setiap algoritma tersebut adalah sama, yakni 328,498 menit. Dari sinipun sebenarnya juga dapat dilihat bagaimana perbandingan antara hasil penerjunan menggunakan algoritma 1 pada iterasi pertama dengan iterasi ke dua, karena pada iterasi pertama, hasilnya sama seperti hasil dari algoritma 2. Dan atas beberapa hal tersebut pula, algoritma 1 iterasi ke dua ini menjadi solusi yang paling baik untuk mengatasi permasalahan pada skenario 2.

4.5.4 Skenario 3

Berdasarkan Tabel 4.45, skenario 3 memiliki 27 kejadian bencana, yang terdiri dari 8 lokasi bencana untuk *excavator*, 19 lokasi bencana untuk non-*excavator*, 3 lokasi vital yang harus ditangani oleh *excavator*, 5 lokasi vital yang harus ditangani oleh alat berat non-*excavator* serta rentang waktu kejadian selama 6 hari. Secara umum, kondisi pada skenario terakhir ini memberikan gambaran bencana yang lebih berat, dimana tidak hanya ada satu lokasi vital, namun ada beberapa lokasi vital yang membutuhkan penanganan dengan segera. Untuk mengetahui lokasi mana-mana saja yang terpilih untuk skenario 3 ini dapat dilihat pada Tabel 4.73.

Tabel 4.73
Hasil *Solver* Skenario 3

ID	Jumlah Kejadian	Lokasi Untuk <i>Excavator</i>	Lokasi Vital Untuk <i>Excavator</i>	Lokasi Untuk Non- <i>Excavator</i>	Lokasi Vital Untuk Non- <i>Excavator</i>	Hari Kejadian
9	1	0	-	1	0	2
10	1	0	-	1	0	2
11	1	0	-	1	0	4
12	1	0	-	1	0	2
13	1	0	-	1	0	1
14	1	0	-	1	0	6
15	1	0	-	1	0	4
16	1	0	-	1	0	6
17	1	0	-	1	0	4

ID	Jumlah Kejadian	Lokasi Untuk Excavator	Lokasi Vital Untuk Excavator	Lokasi Untuk Non-Excavator	Lokasi Vital Untuk Non-Excavator	Hari Kejadian
18	1	0	-	1	0	4
19	1	0	-	1	0	1
20	1	0	-	1	0	6
21	1	0	-	1	0	6
22	1	0	-	1	0	5
23	1	0	-	1	1	4
24	1	0	-	1	1	2
25	1	0	-	1	1	4
26	1	0	-	1	1	2
27	1	0	-	1	1	6
28	1	1	0	0	-	2
29	1	1	0	0	-	3
30	1	1	0	0	-	3
31	1	1	0	0	-	5
32	1	1	1	0	-	2
33	1	1	0	0	-	6
34	1	1	1	0	-	4
35	1	1	1	0	-	5
Total	27	8	3	19	5	

4.5.4.1 Algoritma 1 Skenario 3

Pengujian selanjutnya adalah menggunakan algoritma 1 untuk menangani skenario 3. Dimana skenario 3 ini memiliki kondisi-kondisi yang lebih berat dari pada studi kasus yang diangkat, maupun dari dua skenario sebelum ini. Berikut merupakan penanganan yang dilakukan ketika menggunakan algoritma 1 untuk menanganani skenario 3, sedangkan untuk penerjunan secara lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 33. Hasil penerjunan yang ditunjukkan berikut ini merupakan hasil penerjunan alat berat menggunakan algoritma 1 pada iterasi pertama.

1. Motor grader Mitsubishi MG 3H

Tabel 4.74

Rute Motor Grader Mitsubishi MG 3H Algoritma 1 Skenario 3

Rute	1	12	1
Waktu Tempuh (menit)	32,222	37,224	
Waktu Penanganan (menit)		14.000	
Waktu Idle (menit)		0	
ID Idle			

Pada Tabel 4.74 dapat dilihat bahwa alat berat *motor grader* Mitsubishi MG 3H hanya melakukan penanganan untuk lokasi bencana 12, yang terjadi pada hari ke dua. Alat berat ini melakukan penanganan selama 14.000 menit, atau hampir selama 34 hari, sehingga penanganan baru selesai di hari ke-35.

2. *Backhoe Loader* Holland B 90B

Pada Tabel 4.75 memperlihatkan bahwa *backhoe loader* Mitsubishi MG 3H melakukan penanganan pada tiga lokasi bencana, yakni lokasi 26, 9 dan 18. Lokasi 26 sendiri merupakan lokasi vital yang perlu segera untuk dilakukan penanganan. Pemilihan lokasi 26 yang harus ditangani oleh *backhoe loader* adalah karena alat berat ini termasuk yang sedang *available* pada hari ke dua, bersama dengan *wheel loader* WA 180-1 dan *motor grader* Mitsubishi MG 3H. Namun *wheel loader* WA 180-1 dipilih untuk diterjunkan menuju lokasi 10 dan 24 karena lokasi tersebut memiliki bobot terbesar dan lokasi 24 yang merupakan lokasi vital pula, maka diperlukan alat berat yang *available* dengan waktu penanganan tercepat, yakni *wheel loader* WA 180-1.

Tabel 4.75

Rute *Backhoe loader* Holland B 90B Algoritma 1 Skenario 3

Rute	1	26	9	1	18	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	86,736	78,593	21,069	21,069	
Waktu Penanganan (menit)		24	308		616	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	452,682	
ID Idle					17	

Hal ini yang kemudian menggeser *backhoe loader* Mitsubishi MG 3H untuk menangani lokasi 26, yang merupakan lokasi vital selanjutnya. Pada Tabel 4.58 dapat diketahui jika lokasi 26 dan lokasi 9 merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari ke dua, dan dari Tabel 4.75 dapat diketahui bahwa alat berat ini mampu menyelesaikan penanganannya untuk ke dua lokasi tersebut dalam waktu satu hari lebih sekian menit, atau lebih tepatnya 426,879 menit, dan karena pada hari kedua tersebut setiap lokasi bencana telah ada yang melakukan penanganan dan pada hari ke tiga tidak ada bencana susulan, maka alat berat *backhoe loader* Mitsubishi MG 3H kembali menuju depot sebelum kembali untuk melakukan penanganan pada lokasi 18 pada hari ke empat. Namun dalam prosesnya, alat berat ini terhambat karena pada

lokasi 17 yang sedang dilakukan penanganan, sehingga *backhoe loader* Mitsubishi MG 3H harus menunggu selama 452,682 menit. Secara keseluruhan, alat berat ini mampu menangani setiap lokasi bencana yang ditujukan untuknya selama enam hari.

3. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Pada Tabel 4.76 dapat diketahui bahwa *wheel loader* Komatsu WA 200-5 melakukan penanganan pada sembilan lokasi bencana, dengan rincian lokasi 19 dan 13 merupakan lokasi bencana pada hari pertama, lokasi 17 dan 23 adalah lokasi bencana yang terjadi pada hari ke empat, lokasi 22 adalah lokasi bencana yang terjadi pada hari ke lima, sedangkan lokasi 27, 21, 20 dan 16 adalah lokasi bencana yang terjadi pada hari ke enam. Di dalam lokasi-lokasi yang akan ditangani tersebut, alat berat ini memiliki dua lokasi vital yang akan ditangani, yakni lokasi 23 dan lokasi 27. Dimana masing-masing membutuhkan waktu penanganan selama 112 menit dan 45 menit.

Tabel 4.76

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 3

Rute	1	19	13	1	17	22
Waktu Tempuh (menit)	9,636	71,83	99,965	7,682	0,967	14,038
Waktu Penanganan (menit)		139	334		445	45
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	0
ID Idle						
Rute	23	27	21	20	16	1
Waktu Tempuh (menit)	58,453	73,877	4,476	39,702	171,119	
Waktu Penanganan (menit)	112	45	50	139	167	
Waktu Idle (menit)	215,313	0	0	0	0	
ID Idle	12					

Pada proses penerjunannya, pada hari pertama, alat berat ini menangani lokasi 19 dan 13 yang membutuhkan waktu penerjunan selama 554,466 menit. Pada hari ke dua alat berat ini otomatis menyelesaikan tugasnya untuk menangani sisa pekerjaannya pada hari pertama, dan karena setiap lokasi bencana pada hari ke dua telah ada alat berat yang menangani, maka pada hari tersebut alat berat ini kembali menuju depot. Pada hari ke tiga, alat berat ini tidak melakukan pekerjaan apapun, namun di hari ke empat,

alat berat ini melakukan penanganan untuk lokasi 17 dan 23, dimana lokasi 23 merupakan lokasi vital yang perlu ditangani. Tapi karena jalurnya tertutup oleh lokasi 17 maka lokasi 17 perlu dibuka terlebih dahulu sebelum dapat menjangkau lokasi 23. Lokasi 17 perlu waktu 445 menit atau dengan kata lain tidak dapat langsung diselesaikan dalam waktu satu hari, sehingga penanganan berlanjut pada hari ke lima. Pada hari ke lima, setelah dilakukan penanganan pada lokasi 17 dan akan menangani lokasi 23, ternyata jalurnya kembali terhambat di lokasi 22. Oleh karena itu *backhoe loader* Mitsubishi MG 3H melakukan penanganan pada lokasi 22 terlebih dahulu sebelum berlanjut ke lokasi 23. Setelah melakukan penanganan pada lokasi 23 alat berat ini mengalami proses *idle* karena masih terdapat lokasi lain yang belum tertangani, namun jalurnya masih tertutup di lokasi 12, yang sedang dilakukan penanganan oleh *motor grader* MG 3H. Pada hari ke enam ternyata muncul bencana susulan, sehingga membuat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dilakukan penerjunan untuk menangani lokasi 27, 21, 20, dan 16, dimana diantara lokasi tersebut lokasi 27 merupakan lokasi vital. Setelah lokasi bencana yang ditujukan untuk *wheel loader* Komatsu WA 200-5 telah tertangani, alat berat ini kembali menuju depot. Secara keseluruhan, alat berat ini dilakukan penerjunan sampai hari ke tujuh.

4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1

Dua dari tujuh lokasi yang ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1 merupakan lokasi vital, yakni lokasi 24 dan lokasi 25. Pada proses penerjunannya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.77, alat berat ini dilakukan penerjunan pada hari ke dua untuk menangani lokasi 10 dan 24 yang membutuhkan penanganan hingga hari ke tiga, kemudian setelah itu karena tidak terdapat bencana susulan maupun lokasi bencana yang belum tertangani, maka pada hari ke tiga tersebut alat berat ini kembali menuju depot. Pada hari ke empat alat berat ini melakukan penanganan untuk lokasi 15 dan 25, namun ketika dari lokasi 15 menuju lokasi 25 jalurnya terhambat oleh penanganan pada lokasi 17 yang sedang ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5. Sehingga penanganan lokasi 25 harus dilakukan pada hari ke lima, dan seketika lokasi 25 telah tertangani alat berat ini kembali *idle* karena masih ada lokasi yang belum tertangani namun jalurnya masih tertutup. Selanjutnya pada hari ke enam, alat berat ini diterjunkan untuk menangani lokasi 14, namun harus menunggu hingga lokasi 27 yang menjadi jalur untuk menuju lokasi 14 terbuka terlebih dahulu. Setelah selesai melakukan penanganan pada lokasi tersebut, alat berat ini diterjunkan untuk menangani lokasi 11 namun harus menunggu selama 12.034,984 menit agar lokasi 12

selesai ditangani oleh *motor grader* Mitsubishi MG 3H. Secara keseluruhan alat berat ini selesai diterjunkan pada hari ke 36.

Tabel 4.77

Rute *Wheel Loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 1 Skenario 3

Rute	1	10	24	1	15
Waktu Tempuh (menit)	77,453	49,671	127,124	18,113	45,345
Waktu Penanganan (menit)		445	6		54
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0
ID Idle					
Rute	25	14	11	1	
Waktu Tempuh (menit)	129,785	182,122	64,205		
Waktu Penanganan (menit)	56	84	334		
Waktu Idle (menit)	666,539	103,453	12.034,984		
ID Idle	17, 12	27	12		

5. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Algoritma 1 untuk skenario 3 ini memberikan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) melakukan penanganan pada lima lokasi seperti yang ditunjukkan pad Tabel 4.64, yakni lokasi 28 yang terjadi bencana pada hari ke dua, lokasi 29 yang terjadi bencana pada hari ke tiga, lokasi 34 yang terjadi bencana pada hari ke empat, lokasi 33 yang terjadi bencana pada hari ke enam, serta lokasi 30 yang terjadi bencana pada hari ke lima.

Tabel 4.78

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*Long Arm*) Algoritma 1 Skenario 3

Rute	1	28	29	34	33	30	1
Waktu Tempuh (menit)	19,365	33,274	6,343	26,861	115,762	41,929	
Waktu Penanganan (menit)		469	1.250	625	1.250	8.438	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	2.599,992	
ID Idle						32	

Pada proses penerjunannya, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) pada hari ke dua ketika terdapat bencana langsung diterjunkan untuk menangani lokasi 28, dan waktu yang dibutuhkan hingga masuk hari ke dua. Pada hari ke dua, setelah lokasi 28 tertangani alat berat ini diterjunkan untuk menangani lokasi 29, yang membutuhkan waktu penanganan selama 1.250 menit atau hingga masuk hari ke enam. Pada hari ke enam tersebut alat berat ini langsung diterjunkan untuk menangani lokasi 34 yang merupakan lokasi vital dan telah terjadi bencana pada hari ke empat. Penanganan tidak dapat dilakukan secara segera ketika bencana terjadi akibat tidak ada alat berat yang *available* hingga *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang terlebih dahulu *available*. Penanganan dilakukan hingga memasuki hari ke tujuh. Pada hari ke tujuh, alat berat ini melakukan penanganan untuk lokasi 33 dan selanjutnya pada hari ke sepuluh penanganan bergeser menuju lokasi 30, dimana jalurnya masih tertutup pada lokasi 32 dan membuat alat berat ini untuk sementara *idle* selama 2.599,992 menit. Ketika diterjunkan alat berat ini membutuhkan waktu penanganan hingga hari ke-37 untuk dapat mengatasi bencana yang terjadi.

6. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Tabel 4.79

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 3

Rute	1	32	31	35	1
Waktu Tempuh (menit)	29.835	36.413	32.299	98.547	
Waktu Penanganan (menit)		6250	1875	938	
Waktu Idle (menit)					
ID Idle					

Pada Tabel 4.79 dapat diketahui bahwa alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 melakukan penanganan pada tiga lokasi, yakni lokasi 32 yang merupakan lokasi vital yang terjadi bencana pada hari ke dua, lokasi 31 yang terjadi bencana pada hari ke lima, serta lokasi 35 yang juga merupakan lokasi vital dan terjadi bencana pada hari ke lima. Pemilihan lokasi 31 dan 35 yang diambil dan bukan lokasi 30 karena pada penanganan sebelumnya, yakni lokasi 32 membutuhkan waktu hingga hari ke-16. Selanjutnya karena lokasi 35 adalah lokasi vital maka dipilihlah jalur dari lokasi 32 menuju lokasi 35, yang mana harus menangani lokasi 31 terlebih dahulu untuk dapat menjangkau lokasi 35. Secara keseluruhan, *excavator* Komatsu PC 200-6

membutuhkan waktu hingga masuk hari ke-24 untuk dapat menyelesaikan setiap lokasi bencana yang ditujukan untuk alat berat ini.

Pada iterasi pertama ini terdapat beberapa hal yang sebenarnya dapat lebih ditingkatkan, salah satu contohnya adalah penerjunan *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Alat berat ini pada iterasi pertama menangani lima lokasi bencana dimana salah satunya memiliki waktu penanganan yang lama, yakni lokasi 30 yang membutuhkan waktu penanganan selama 8.438 menit. Hal ini sebenarnya dapat ditekan, jika lokasi tersebut ditangani oleh alat berat dengan kapasitas yang lebih besar, atau dalam hal ini alat berat tersebut adalah *excavator* Komatsu PC 200-6. Pada alat berat non-*excavator* juga terdapat beberapa hal yang dapat ditingkatkan. Jika melihat pada Tabel 4.77, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 mengalami beberapa kali waktu *idle*, meski dalam pembiayaan hal ini tidak diperhitungkan, namun waktu *idle* tersebut akan berdampak pada rentang waktu penanganannya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa alat berat tersebut selesai dilakukan penerjunan pada hari ke-36, setelah melakukan penanganan pada lokasi 11, yang hanya membutuhkan waktu penanganan kurang dari satu hari kerja. Hal ini pula yang menyebabkan pada iterasi pertama tersebut, rentang penerjunan alat berat dimulai pada hari pertama, dan berakhir di hari ke-36. Oleh karena itu, dilakukan iterasi lanjutan untuk mencapai tingkat yang lebih optimal. Berikut merupakan hasil dari penanganan skenario 3 menggunakan algoritma 1 pada iterasi ke dua.

1. *Motor grader* Mitsubishi MG 3H

Pada iterasi ke dua yang telah dilakukan, memberikan perubahan pada rute maupun lokasi yang ditangani oleh *motor grader* Mitsubishi MG 3H. Dimana pada iterasi pertama, alat berat ini hanya menangani lokasi 18, namun pada iterasi ke dua, alat berat ini menangani lokasi 26 dan 15, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.80.

Tabel 4.80

Rute *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2

Rute	1	26	1	15	1
Waktu Tempuh (menit)	8,143	8,143	18,113	18,113	
Waktu Penaganan (menit)		150		480	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	
ID Idle					

Pada iterasi yang ke dua ini, *motor grader* Mitsubishi MG 3H diterjunkkan pada hari ke dua, yakni saat lokasi 26 mengalami bencana. Selanjutnya karena penanganan tidak membutuhkan waktu yang lama dan setiap lokasi bencana pada hari tersebut telah ada yang menangani, maka alat berat ini langsung kembali menuju *depot*. Kemudian, alat berat ini kembali diterjunkkan pada hari ke empat untuk menangani lokasi 15, yang membutuhkan penanganan selama 480 menit. Sehingga alat berat tersebut harus melakukan penanganan sampai memasuki hari ke lima, sebelum akhirnya kembali ke *depot*.

2. *Backhoe loader* Holland B 90B

Tabel 4.81

Rute *Backhoe loader* Holland B 90B Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2

Rute	1	10	24	1	22
Waktu Tempuh (menit)	77,453	49,671	127,124	8,649	14,038
Waktu Penanganan (menit)		616	8		62
Waktu Idle (menit)		0	0	0	32,682
ID Idle					17
Rute	23	1	27	14	1
Waktu Tempuh (menit)	22,687	53,064	64,853	117,917	
Waktu Penanganan (menit)	154		62	116	
Waktu Idle (menit)	0	0	0	0	
ID Idle					

Pada iterasi ke dua, membuat *backhoe loader* Holland B 90B menangani lebih banyak lokasi dari pada di iterasi pertama. Pada iterasi ke dua ini, alat berat tersebut menangani lokasi 10, 24, 22, 23, 27 dan 14 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.81. Pada penerjunannya, alat berat ini diterjunkkan untuk menangani lokasi vital di lokasi 24, namun karena jalurnya yang masih tertutup di lokasi 10, sehingga alat berat ini melakukan penanganan terlebih dahulu pada lokasi 10, kemudian berlanjut ke lokasi 24. Selanjutnya, karena tidak ada lokasi bencana yang belum tertangani, maka alat berat ini kembali menuju *depot* pada hari ke tiga. Selanjutnya alat berat ini diterjunkkan untuk menangani lokasi 22 dan 23 pada hari ke lima dan kembali lagi menuju *depot*.

Kemudian pada penerjunan terakhir, alat berat ini melakukan penanganan untuk lokasi 27 dan 14 pada hari ke enam.

3. *Wheel loader* Mitsubishi WA 200-5

Penerjunan *wheel loader* Komatsu WA 200-5 pada iterasi ke dua ini, memberikan rute yang berbeda pula jika dibandingkan dengan iterasi pertama. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.82, alat berat ini melakukan penanganan sejak hari pertama, yakni untuk menangani lokasi 19 dan 13. Dimana pada lokasi tersebut membutuhkan lama penanganan selama 139 menit dan 334 menit. Selanjutnya alat berat ini melakukan penanganan pada lokasi 9 selama 223 menit di hari ke dua dan berlanjut hingga memasuki hari ke tiga, sebelum kembali menuju *depot*.

Tabel 4.82

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2

Rute	1	19	13	9	1	17
Waktu Tempuh (menit)	9,636	71,83	21,372	78,593	7,682	19,55
Waktu Penanganan (menit)		139	334	223		445
Waktu Idle (menit)		0	0	0	364,286	0
ID Idle					10	
Rute	25	18	21	20	16	1
Waktu Tempuh (menit)	22,175	132,646	4,467	39,702	128,671	
Waktu Penanganan (menit)	56	445	50	139	167	
Waktu Idle (menit)	0	0	40,343	0	0	
ID Idle			27			

Penanganan pada lokasi 17 yang membutuhkan penanganan selama 445 menit, membuat alat berat ini harus melakukan penanganan pada hari ke empat hingga memasuki hari ke lima, dan selanjutnya melakukan penanganan untuk lokasi 25 dan 18 pada hari itu juga dengan lama waktu penanganan selama 56 menit dan 445 menit. Pada hari ke enam, penanganan berlanjut di lokasi 21 dan 20, namun dalam penerjunannya harus terhambat karena pada lokasi 27 sedang dilakukan penanganan oleh *backhoe loader* Holland B 90B. Setelah lokasi 21 dan 20 dapat tertangani dengan lama waktu penanganan masing-masing selama 50 menit dan 139 menit, penerjunan

alat berat ini berlanjut menuju lokasi 16, dimana dalam penerjunannya ini terjadi pada hari ke tujuh dan berakhir pada hari ke delapan.

4. *Wheel loader* Mitsubishi WA 180-1

Rute yang dilalui *wheel loader* Komatsu WA 180-1 pada iterasi ke dua ini lebih sederhana dari iterasi pertamanya. Jika di iterasi pertama, alat berat ini di terjunkan untuk menangani enam lokasi bencana, sedangkan pada iterasi yang ke dua ini hanya dua lokasi bencana, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.83. Meski hanya dua lokasi, namun lokasi 12 yang ditangani oleh alat berat ini pada hari ke dua memiliki waktu penanganan selama 1.556 menit atau hampir 5 hari. Hal yang berbeda dari penerjunan *wheel loader* Mitsubishi WA 180-1 ini adalah, tidak seperti di iterasi pertamanya yang terdapat beberapa waktu *idle* yang lama, di iterasi yang ke dua, alat berat ini tidak mengalami waktu *idle* sehingga penerjunan dapat dilakukan lebih cepat. Dari dua lokasi yang ditangani, alat berat tersebut selesai diterjunkan pada hari ke enam.

Tabel 4.83

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2

Rute	1	12	11	1
Waktu Tempuh (menit)	32,222	26,981	64,205	
Waktu Penanganan (menit)		1.556	334	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	
ID <i>Idle</i>				

5. *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Pada iterasi ke dua ini, rute yang dilalui oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) tidak terlalu berbeda dari iterasi pertamanya. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.84, perubahan yang terjadi hanya pada lokasi 30, dimana pada iterasi pertama dilakukan penerjunan ke lokasi 30 setelah dari lokasi 33, namun pada iterasi kali ini hanya berhenti di lokasi 33 sebelum akhirnya kembali menuju *depot*. Hampir seperti iterasi 1, alat berat ini diterjunkan pada hari ke dua untuk menangani lokasi 28, selanjutnya di hari ke tiga diterjunkan untuk menangani lokasi 29 yang membutuhkan waktu penanganan selama 1.250 menit, sehingga penanganan dilakukan hingga memasuki hari ke enam. Selanjutnya lokasi 34 dilakukan penanganan pada hari ke enam dan berlanjut hingga hari ke tujuh. Dan terakhir, alat berat ini diterjunkan ke

lokasi 33 pada hari ke tujuh hingga memasuki hari ke sepuluh, sebelum kembali menuju *depot*.

Tabel 4.84

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2

Rute	1	28	29	34	33	1
Waktu Tempuh (menit)	19,365	33,274	6,343	26,861	73,833	
Waktu Penanganan (menit)		469	1.250	625	1.250	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	
ID Idle						

6. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Pada Tabel 4.85, dapat diketahui jika lokasi 30 yang awalnya ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) pada iterasi pertama, berubah ditangani oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 pada iterasi ke dua. Sehingga perbedaan yang muncul adalah ketika selesai melakukan penanganan pada lokasi 35, alat berat ini tidak kembali menuju *depot*, melainkan diterjunkan untuk menangani lokasi 30 yang membutuhkan waktu penanganan selama 4.219 menit, atau dari hari ke 23 saat selesai melakukan penanganan pada lokasi 35 hingga hari ke-34. Tentu hal ini membuat *excavator* Komatsu PC 200-6 diterjunkan lebih lama dari iterasi pertamanya, namun hal ini menjadi lebih optimal, karena pada iterasi pertama, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) yang menangani lokasi 30 ini diterjunkn hingga hari ke-37.

Tabel 4.85

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 1 Skenario 3 Iterasi 2

Rute	1	32	31	35	30	1
Waktu Tempuh (menit)	29,835	36,413	32,299	80,806	41,929	
Waktu Penanganan (menit)		6250	1.875	938	4.219	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	
ID Idle						

Pada iterasi kedua ini kembali ditemukan solusi-solusi yang lebih baik dari iterasi pertama yang telah dilakukan. Beberapa hal yang nampak hilang pada iterasi ke dua ini adalah, tidak terlihat waktu *idle* yang lama seperti halnya pada iterasi pertama. Selain itu,

penerjunan alat berat juga menjadi lebih optimal, karena alat berat yang memiliki kapasitas besar, diterjunkan untuk menangani lokasi dengan kerusakan yang berat. Tentu saja hal ini lebih menguntungkan, karena selain waktu penanganannya dapat lebih dipangkas, sehingga mobilisasi dapat segera berjalan normal, hal lain yang diperoleh juga terkait meminimalkan biaya yang harus dikeluarkan.

4.5.4.2 Algoritma 2 Skenario 3

Seperti pada pengujian sebelumnya, kali ini skenario 3 yang memiliki kondisi-kondisi yang lebih berat dari pada studi kasus maupun skenario sebelumnya akan dicoba untuk diselesaikan menggunakan algoritma 2. Berikut merupakan penanganan yang dilakukan ketika menggunakan algoritma 2 untuk menangani skenario 3, untuk penerjunan yang lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 34.

1. *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H

Pada penggunaan algoritma 2 untuk menangani skenario 3 ini membuat *motor grader* Mitsubishi MG 3H melakukan penanganan hanya pada lokasi 18 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.86. Lokasi bencana 18 ini terjadi ketika hari ke empat sejak bencana pertama muncul. Penanganan oleh alat berat ini dilakukan hingga hari ke-13. Lokasi 18 ini membutuhkan waktu selama 4.000 menit, atau hampir selama 10 hari. Hal ini memungkinkan munculnya proses *idle*, jika ada lokasi bencana yang harus melewati lokasi 18 ini. Namun, jika melihat hasil dari penerjunan pada alat berat yang lain, hal ini tidak terlihat. Hal ini seperti yang terjadi pada studi kasus, karena lokasi 18 ini merupakan lokasi di percabangan *tree* terakhir.

Tabel 4.86

Rute *Motor Grader* Mitsubishi MG 3H Algoritma 2 Skenario 3

Rute	1	18	1
Waktu Tempuh (menit)	21,069	21,069	
Waktu Penanganan (menit)		4.000	
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	
ID <i>Idle</i>			

2. *Backhoe loader* Holland B 90B

Pada Tabel 4.87 dapat diketahui jika *backhoe loader* Holland B 90B melakukan penanganan pada lokasi 12 dan 11, dimana lokasi 12 terjadi bencana pada hari ke dua,

sedangkan lokasi 11 terjadi bencana pada hari ke empat. Dalam tahapan penanganannya, lokasi 12 yang terjadi bencana terlebih dahulu, dengan waktu penanganan selama 2.154 menit, sehingga dilakukan penanganan hingga hari ke tujuh, kemudian lokasi 11 dengan waktu penanganan selama 462 menit, sehingga dilakukan penanganan hingga hari ke delapan. Di dalam penerjunan alat berat *backhoe loader* Holland B 90B ini tidak terdapat hambatan yang berbentuk proses *idle*.

Tabel 4.87

Rute *Backhoe loader* Holland B 90B Algoritma 2 Skenario 3

Rute	1	12	11	1
Waktu Tempuh (menit)	32,222	26,981	64,205	
Waktu Penanganan (menit)		2.154	462	
Waktu Idle (menit)		0	0	
ID Idle				

3. *Wheel loader* Komatsu WA 200-5

Merujuk pada Tabel 4.88, diketahui jika *wheel loader* Komatsu WA 200-5 melakukan penanganan pada delapan lokasi, dimana dua diantaranya adalah lokasi vital, yakni lokasi 23 dan lokasi 27. Pada proses penerjunannya, alat berat ini melakukan penanganan sejak hari pertama, yakni untuk menangani lokasi 19 dan 13 yang membutuhkan waktu hingga masuk hari ke dua. Pada hari ke dua, alat berat ini melakukan penanganan pada lokasi 9 yang baru terjadi bencana pada hari ke tiga dan selanjutnya karena setiap lokasi bencana pada hari ketiga telah ada alat berat yang menanganinya, maka alat berat ini kembali menuju depot namun terhalang di lokasi 10 yang masih dilakukan penanganan oleh *wheel loader* Komatsu WA 180-1. Pada hari ke empat, alat berat ini diterjunkan untuk menangani lokasi 23 yang merupakan lokasi vital, namun karena jalurnya tertutup di lokasi 17 maka terlebih dahulu dilakukan penanganan untuk lokasi 17, yang membutuhkan penanganan hingga memasuki hari ke lima. Pada hari ke lima tersebut, dimana mulanya akan diterjunkan untuk menangani lokasi 23 namun jalurnya kembali tertutup di lokasi 22, sehingga dilakukan penanganan terlebih dahulu di lokasi tersebut sebelum dapat menjangkau lokasi 23. Hingga hari ke lima berakhir, alat berat ini tidak melakukan penanganan yang lain. Lalu ketika masuk hari ke enam, alat berat ini diterjunkan untuk menangani lokasi 27 yang merupakan lokasi vital dan kemudian dilanjutkan menuju lokasi 14, sebelum

kembali menuju depot. Alat berat ini secara keseluruhan diterjunkan selama enam hari untuk menangani delapan lokasi tersebut.

Tabel 4.88

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 200-5 Algoritma 2 Skenario 3

Rute	1	19	13	9	1	17
Waktu Tempuh (menit)	9,636	71,83	21,372	78,593	7,682	0,967
Waktu Penanganan (menit)		139	334	223		445
Waktu Idle (menit)		0	0	0	1,273	0
ID Idle					10	
Rute	22	23	27	14	1	
Waktu Tempuh (menit)	14,038	58,453	64,853	117,917		
Waktu Penanganan (menit)	45	112	45	84		
Waktu Idle (menit)	0	0	0	0		
ID Idle						

4. *Wheel loader* Komatsu WA 180-1

Seperti pada Tabel 4.89, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 melakukan penanganan pada delapan lokasi bencana. Lokasi 26, 10 dan 24 yang merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari ke dua, lokasi 15 dan 25 yang merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari ke empat, sedangkan lokasi 21, 20 dan 16 merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari ke enam. Pada tahapan penerjunannya, alat berat ini dilakukan penerjunan untuk menangani lokasi 26 terlebih dahulu, karena lokasi ini merupakan lokasi vital, setelah dilakukan penanganan selama 17 menit, alat berat ini diterjunkan menuju lokasi 24 yang merupakan lokasi vital selanjutnya, namun jalurnya tertutup di lokasi 10, sehingga dilakukan penanganan terlebih dahulu pada lokasi tersebut. Penanganan pada lokasi ini memakan waktu hingga masuk pada hari ke tiga. Selanjutnya pada hari ke tiga, alat berat ini mampu menjangkau lokasi 24, dan setelah setiap lokasi telah tertangani, maka alat berat ini kembali menuju depot. Pada hari ke empat, muncul bencana pada lokasi vital yang lain, yakni lokasi 25. Namun, jalur untuk mencapai lokasi ini masih tertutup di lokasi 17 yang sedang dilakukan penanganan oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5 sehingga untuk mengurangi waktu

idle maka alat berat ini diterjunkan terlebih dahulu untuk menangani lokasi 15. Setelah lokasi 15 telah tertangani, ternyata alat berat ini harus menunggu selama 297,222 menit agar lokasi 17 dapat dilalui dan lokasi 25 dapat dijangkau. Penanganan hingga lokasi 25 ini membutuhkan waktu hingga memasuki hari ke lima. Selanjutnya pada hari ke enam, alat berat ini dilakukan penanganan pada lokasi 21, namun harus mengalami proses *idle* selama 316 menit karena lokasi 27 yang merupakan jalurnya masih dilakukan penanganan. Lokasi 21 ini akhirnya dapat ditangani hingga memasuki hari ke tujuh. Selanjutnya lokasi 20 dan 16 dilakukan penanganan hingga memasuki hari ke delapan sebelum akhirnya *wheel loader* Komatsu WA 180-1 ini kembali menuju depot. Alat berat ini tercatat dua kali mengalami proses *idle*. Meski menghambat, hal ini cukup baik, karena yang menghambat adalah alat berat dengan kapasitas yang besar, sehingga *wheel loader* Komatsu WA 180-1 tidak membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menunggu.

Tabel 4.89

Rute *Wheel loader* Komatsu WA 180-1 Algoritma 2 Skenario 3

Rute	1	26	10	24	1	15
Waktu Tempuh (menit)	8,143	85,596	49,671	127,124	18,113	45,345
Waktu Penanganan (menit)		17	445	6		54
Waktu <i>Idle</i> (menit)		0	0	0	0	0
ID <i>Idle</i>						
Rute	25	21	20	16	1	
Waktu Tempuh (menit)	138,809	4,476	39,702	171,091		
Waktu Penanganan (menit)	56	50	139	167		
Waktu <i>Idle</i> (menit)	279,222	316	0	0		
ID <i>Idle</i>	17	27				

5. Excavator Komatsu PC 200-6 (*long arm*)

Excavator Komatsu PC 200-6 (*long arm*) berdasarkan Tabel 4.90 melakukan penanganan pada enam lokasi bencana. Pada proses penerjunannya, alat berat ini diterjunkan pada hari ke dua untuk melakukan penanganan pada lokasi 28, yang membutuhkan waktu hingga masuk hari ke tiga dan berlanjut melakukan penanganan

pada lokasi 29, yang pada hari tersebut baru mengalami bencana. Proses penanganan pada lokasi 29 ini membutuhkan waktu hingga memasuki hari ke enam. Selanjutnya pada hari ke enam tersebut, alat berat ini melakukan penanganan untuk lokasi 34 yang merupakan lokasi vital. Penanganan berlangsung hingga hari ke tujuh. Pada hari ke tujuh penanganan berlanjut ke lokasi 33, yang membutuhkan waktu hingga masuk hari ke sepuluh. Selanjutnya ketika hendak diterjunkan untuk menangani lokasi 31, ternyata lokasi 32 yang merupakan jalur untuk mengakses lokasi 31 masih dilakukan penanganan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6. Sehingga alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) harus menunggu hingga lokasi 32 selesai ditangani, yakni pada hari ke-16. Pada hari ke-16 penanganan berlanjut ke lokasi 31 hingga hari ke-26, dan kemudian alat berat *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) bergerak untuk menangani lokasi 35 hingga hari ke-30.

Tabel 4.90

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) Algoritma 2 Skenario 3

Rute	1	28	29	34	33	31	35	1
Waktu Tempuh (menit)	19,365	33,274	6,343	26,861	140,081	32,299	98,547	
Waktu Penanganan (menit)		469	1.250	625	1.250	3.750	1.875	
Waktu Idle (menit)		0	0	0	0	2.600	0	
ID Idle						32		

6. *Excavator* Komatsu PC 200-6

Penanganan yang dilakukan oleh *excavator* Komatsu PC 200-6 ketika menggunakan algoritma 2 untuk menangani skenario 3, membuat alat berat ini hanya melakukan dua kali penanganan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.91.

Tabel 4.91

Rute *Excavator* Komatsu PC 200-6 Algoritma 2 Skenario 3

Rute	1	32	30	1
Waktu Tempuh (menit)	29,835	12,094	41,929	
Waktu Penanganan (menit)		6.250	4.219	
Waktu Idle (menit)		0	0	
ID Idle				

Dua lokasi yang ditangani yakni lokasi 32 yang merupakan lokasi vital yang terjadi bencana pada hari ke dua dan lokasi 30 yang merupakan lokasi bencana yang terjadi pada hari ke tiga. Proses penerjunan alat berat ini dimulai pada hari ke dua, yakni untuk menangani lokasi 32. Proses penanganan berlangsung selama hampir 15 hari atau hingga memasuki hari ke-16. Penanganan berlanjut untuk lokasi 30, dimana alat berat ini melakukan penanganan hingga hari ke-27 sebelum akhirnya kembali menuju depot.

4.5.4.3 Perbandingan Skenario 3

Berdasarkan pada tahapan yang telah dilakukan untuk melakukan penerjunan alat berat guna menangani bencana yang terjadi pada skenario 3 ini, seperti pada perbandingan sebelumnya, maka setiap algoritma akan memberikan pengeluaran berupa biaya tersendiri. Melihat pada penjelasan sebelumnya yang memberikan hasil yang berbeda di antara algoritma 1 dan 2, maka biaya yang dikeluarkan oleh setiap algoritma ini juga akan berbeda. Pada algoritma 1, iterasi dua yang akan digunakan untuk dilakukan perbandingan dengan algoritma 2.

Pada Tabel 4.92, algoritma 1 yang digunakan untuk menangani skenario 3 ini, total biaya yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 94.448.000,00. Biaya ini dikeluarkan untuk melakukan pembiayaan pada seluruh alat berat yang diterjunkan. Biaya ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan proses penanganan dengan total hari kerjanya selama 60 hari. Pengeluaran terbesar berasal dari pembiayaan alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 yakni sebesar Rp.54.946.000,00. Biaya yang besar ini dikeluarkan karena alat berat ini melakukan penanganan yang lama, yakni dari hari ke dua hingga hari ke-34, dimana saat alat berat ini membutuhkan waktu penerjunan selama 13.503,282 menit. Selain itu perpindahan sebanyak lima kali juga mempengaruhi biaya yang dikeluarkan untuk alat berat ini. Pengeluaran terbesar selanjutnya adalah untuk pembiayaan alat berat *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), dimana alat berat ini membutuhkan biaya sebesar Rp. 22.258.000,00. Biaya ini dikeluarkan untuk menangani lima lokasi bencana, dengan total hari kerja selama sembilan hari, dan perpindahan sebanyak lima kali.

Pembiayaan terbesar selanjutnya adalah untuk *wheel loader* Komatsu WA 200-5, yakni sebesar Rp. 6.706.000,00. Biaya ini dikeluarkan untuk menangani sembilan lokasi, dengan total waktu penerjunan selama 2.534,324 menit. Pengeluaran terbesar selanjutnya adalah untuk alat berat *wheel loader* Komatsu WA 180-1, yakni sebesar Rp. 4.790.000,00.

Dimana biaya ini dikeluarkan untuk menangani dua lokasi bencana dan dibutuhkan waktu selama lima hari kerja dalam proses penanganannya atau pada tahapan penerjunannya membutuhkan waktu hingga hari ke enam. Biaya terbesar selanjutnya adalah untuk alat berat *backhoe loader* Holland B 90B, yakni sebesar Rp. 3.832.000,00. Biaya tersebut dikeluarkan untuk membiayai alat berat ini ketika diterjunkan untuk menangani enam lokasi bencana, dengan lama hari kerja selama empat hari. Pembiayaan terakhir adalah untuk alat berat *motor grader* Mitsubishi MG 3H, yakni sebesar Rp. 1.916.000,00. Biaya ini dikeluarkan untuk menangani lokasi 26 dan 15 selama dua hari kerja meski dalam proses penerjunannya membutuhkan waktu hingga hari ke lima.

Tabel 4.92

Rekap Algoritma 1 Skenario 3

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjunan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkutan)	Sewa Truk (angkutan)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	536,324	1.998	2.534,324	7	150.000	808.000	-	-	6.706.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	123,408	1.890	2.013,408	5		808.000	-	-	4.790.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	52,512	630	682,512	2		808.000	-	-	1.916.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	221,282	13.282	13.503,282	33		1.212.000	2.000.000	5	54.946.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (long arm)	159,676	3.594	3.753,676	9		1.212.000	2.000.000	5	22.258.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	535,456	1.018	1.553,456	4		808.000	-	-	3.832.000,00
Total	1.628,658	22.412	24.040,658	60				10	94.448.000,00

Berdasarkan Tabel 4.93, total biaya yang dikeluarkan untuk menangani bencana dengan menggunakan algoritma 2 pada skenario 3 ini adalah sebesar Rp. 111.646.000,00. Biaya yang dikeluarkan terbesar adalah untuk dua alat berat berjenis *excavator*. Dimana *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) membutuhkan biaya terbesar yakni Rp. 45.326.000,00. Biaya tersebut dikeluarkan untuk menerjunkan alat berat ini menuju enam lokasi bencana dengan tujuh kali perpindahan menggunakan jasa sewa truk angkut. Biaya yang besar ini digunakan untuk melakukan penanganan selama 23 hari kerja, atau jika melihat pada tahapan penerjunannya alat berat ini baru selesai diterjunkan ketika masuk hari ke-30.

Tabel 4.93
Rekap Algoritma 2 Skenario 3

Alat Berat	Total Waktu Tempuh (menit)	Total Waktu Penanganan (menit)	Total Waktu Penerjungan (menit)	Total Hari Kerja (hari)	Insentif Tenaga Kerja (rupiah/hari)	Biaya Bahan Bakar (rupiah/hari)	Biaya Sewa Truk (rupiah/angkut)	Sewa Truk (angkut)	Total Biaya (rupiah)
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 200-5	445,341	1.427	1.872,341	5	150.000	808.000			4.790.000,00
<i>Wheel loader</i> Komatsu WA 180-1	688,070	934	1.622,07	4		808.000			3.832.000,00
<i>Motor grader</i> Mitsubishi MG 3H	42,138	4.000	4.042,138	10		808.000			9.580.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6	83,858	10.469	10.552,858	26		1.212.000	2.000.000	3	41.412.000,00
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200-6 (<i>long arm</i>)	356,770	9.219	9.575,77	23		1.212.000	2.000.000	7	45.326.000,00
<i>Backhoe loader</i> Holland B 90B	123,408	2.616	2.739,408	7		808.000			6.706.000,00
Total	1.739,585	28.665	30.404,585	75				10	111.646.000,00

Selanjutnya terdapat *excavator* Komatsu PC 200-6, yang menggunakan biaya sebesar Rp. 41.412.000,00. Dimana biaya ini dikeluarkan untuk menangani dua lokasi bencana dengan masing-masing lama waktu penanganannya selama 6.250 menit dan 4.219 menit. Meski total hari kerja yang dibutuhkan (26 hari) lebih besar dari *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*), namun alat berat ini hanya menggunakan jasa sewa truk angkut sebanyak tiga kali, hal inilah yang membuat biaya yang digunakannya lebih sedikit dari pada *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*).

Pengeluaran terbesar selanjutnya berasal dari alat berat *motor grader* Mitsubishi MG 3H, yakni sebesar Rp. 9.580.000,00. Biaya ini dikeluarkan untuk menangani lokasi 18 saja yang membutuhkan waktu penanganan selama 4.000 menit, atau dari hari kejadian bencana pada lokasi tersebut, yakni hari ke empat, hingga hari ke-13. Pengeluaran terbesar selanjutnya adalah untuk *backhoe loader* Holland B 90B, yakni sebesar Rp. 6.706.000,00. Biaya sebesar ini digunakan untuk menangani lokasi 12 dan 11 yang selesai pada hari ke delapan. Selanjutnya adalah alat berat *wheel loader* Komatsu PC WA 200-5, dimana biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 4.790.000,00. Biaya ini dikeluarkan untuk penanganan pada delapan lokasi bencana, dan membutuhkan waktu selama lima hari kerja, atau pada tahapan penerjunannya, alat berat ini baru selesai di hari ke enam. Biaya terakhir digunakan untuk pembiayaan *wheel loader* Komatsu WA 180-1, yakni sebesar Rp. 3.832.000,00. Biaya ini digunakan untuk melakukan penanganan pada delapan lokasi bencana, dan membutuhkan total hari kerja selama empat hari kerja, atau jika saat tahapan penerjunannya alat berat ini diterjunkan dari hari ke dua hingga hari ke delapan, karena terdapat dua kali proses *idle* yang cukup lama, yakni 279,22 menit dan 316 menit.

Membandingkan bagaimana hasil dari algoritma 1 maupun algoritma 2 untuk menangani skenario 3 ini memang terlihat perbedaannya. Dari segi biaya yang dikeluarkan, biaya penerjunan alat berat menggunakan algoritma 1 jelas lebih unggul, dengan lebih rendahnya biaya yang dikeluarkan. Algoritma 1 menggunakan biaya sebesar Rp. 94.448.000,00 sedangkan algoritma 2 sebesar Rp. 111.646.000,00. Hasil yang cukup timpang sekali, karena selisih di antara kedua biaya tersebut adalah Rp. 17.198.000,00. Jika membandingkan biaya tersebut lebih detail, pada algoritma 1 untuk pembiayaan alat berat berjenis *excavator* adalah sebesar Rp. 77.204.000,00, sedangkan pada algoritma 2 sebesar Rp. 86.738.000,00. Padahal kedua algoritma ini memiliki kesamaan pada jumlah penggunaan truk untuk mengangkut *excavator*, yakni sama-sama sebanyak 10 kali. Hal ini mengindikasikan, jika algoritma 1 lebih mampu mengefektifkan penggunaan alat beratnya untuk melakukan penanganan, sehingga tidak membutuhkan waktu yang lebih lama yang

akhirnya berdampak pada pembiayaan. Hal tersebut terbukti dengan total hari kerja yang dibutuhkan oleh kedua *excavator* pada algoritma 2 adalah selama 49 hari, dengan rincian 26 hari untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 dan 23 hari untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Sedangkan pada algoritma 1, total hari kerja yang dibutuhkan oleh kedua *excavator* adalah selama 42 hari, dengan rincian 33 hari untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 dan 9 hari untuk *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*). Sedangkan untuk pembiayaan alat berat non *excavator*, pada algoritma 1 membutuhkan biaya sebesar Rp. 17.244.000,00 sedangkan pada algoritma 2 sebesar Rp. 24.908.000,00. Hal ini jelas menunjukkan bahwa algoritma 1 memiliki waktu penerjunan yang lebih singkat dari pada algoritma 2 yakni selama 18 hari, sedangkan algoritma 2 selama 26 hari. Dari kedua hal tersebut dapat terlihat jika algoritma 1 lebih mampu mengefektifkan penggunaan alat beratnya sehingga berdampak pada total hari kerja yang lebih pendek dan akhirnya berdampak pula pada biaya yang dikeluarkan juga semakin rendah. Meski demikian ternyata terdapat hal lain yang dapat diunggulkan dari algoritma 2 untuk menangani skenario 3 ini. Hal tersebut adalah lamanya waktu penerjunan, dimana dengan menggunakan algoritma 1 ini penerjunan alat berat akan berakhir di hari ke-34 sedangkan pada algoritma 2 hingga hari ke-30.

4.5.5 Analisis Antar Algoritma

Baik algoritma 1 maupun algoritma 2 memiliki tahapan-tahapan tersendiri untuk menentukan rute bagi alat beratnya untuk dilakukan penerjunan guna melakukan penanganan pada setiap lokasi bencana yang terjadi. Meski demikian kedua algoritma tersebut memiliki beberapa kesamaan, diantaranya adalah bagaimana setiap algoritma tersebut memandang lokasi vital yang tertimpa bencana sebagai lokasi yang harus ditangani terlebih dahulu. Kedua algoritma tersebut sama-sama memberikan atensi khusus pada lokasi vital tersebut untuk segera dilakukan penanganan menggunakan alat berat yang *available* dengan penanganan tercepat. Hal ini digunakan agar lokasi tersebut dapat segera normal sehingga apa yang menjadi *concern* pada manajemen transportasi yakni peningkatan akses dan mobilitas arus kendaraan, barang, dan orang dapat maksimal dengan menghemat sumber keuangan, dan energi. Meski demikian, pada kedua algoritma tersebut masih terdapat kelemahan terkait hal ini. Dimana kedua algoritma ini seperti hanya melihat secara *one step ahead* dan bukan *more than one step ahead*. Hal ini dapat menjadi masalah, jika muncul kondisi seperti berikut. Anggaplah hanya terdapat dua alat berat, yakni berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dan *motor grader* Mitsubishi MG 3H.

Alat berat *wheel loader* Komatsu WA 200-5 akan *available* pada hari ke tiga, sedangkan alat berat *motor grader* Mitsubishi MG 3H akan *available* pada hari ke dua. Pada hari ke dua muncul bencana pada suatu lokasi vital, dimana jika ditangani oleh *wheel loader* Komatsu WA 200-5 dibutuhkan waktu 445 menit, sedangkan jika ditangani oleh *motor grader* Mitsubishi MG 3H dibutuhkan waktu 4.000 menit. Karena kedua algoritma tersebut menentukan alat berat yang diterjunkan berdasarkan alat berat yang *available* terlebih dahulu, maka untuk menangani lokasi tersebut ditugaskan kepada alat berat *motor grader* Mitsubishi MG 3H. Sedangkan jika anggaplah mau untuk menunggu hingga hari ke tiga ketika *wheel loader* Komatsu WA 200-5 telah *available* maka penanganan tidak akan sampai 4.000 menit, melainkan hanya 445 menit.

Permasalahan ini sebenarnya telah dijawab oleh algoritma 1, dimana terdapat fase iterasi di dalamnya, sehingga memungkinkan untuk melakukan penyesuaian, sehingga diperoleh hasil yang lebih baik. Bukti dari hal tersebut adalah, ketika diterapkan algoritma 1 untuk melakukan penerjunan terhadap alat berat guna menangani lokasi bencana pada studi kasus, maupun ketiga skenario yang telah dibuat, hasil dari iterasi pertama memang kurang optimal, namun ketika dilanjutkan ke iterasi selanjutnya, hasilnya diperoleh solusi yang lebih baik. Akan tetapi hal ini cukup sulit dilakukan, mengingat bencana yang muncul sifatnya tidak dapat diprediksi. Sehingga iterasi yang dilakukan harus terus dilakukan selama bencana muncul. Berbeda dengan algoritma 1, algoritma 2 yang tidak memiliki tahapan iterasi hanya melakukan penerjunan berdasarkan skema yang dibuat, dan pengulangannya dilakukan sedemikian rupa sehingga *looping* yang terbentuk sesuai dengan skema. Selain itu, algoritma 2 yang menggunakan lokasi terdekat dari lokasi terakhir penerjunan, membuat algoritma 2 ini cukup adaptif jika dihadapkan pada permasalahan bencana yang sifatnya tidak dapat terprediksi. Jika melihat hasil-hasil penerjunan yang telah dilakukan, sebenarnya algoritma 2 ini lebih unggul dari algoritma 1 pada iterasi pertama. Dengan tahapan yang runtut sesuai dengan skema, algoritma 2 ini memberikan hasil yang setidaknya mampu mendekati kondisi yang optimal. Setidaknya jika dibandingkan dengan iterasi pertama pada algoritma 1.

Disamping kesamaan-kesamaan yang telah disebutkan diatas, terdapat kesamaan lain dari kedua algoritma tersebut, dimana keduanya sama-sama menggunakan *minimum spanning tree* sebagai model jalur untuk melakukan penanganan. Penggunaan *minimum spanning tree* ini adalah untuk menentukan jalur yang akan dilalui dengan menggunakan jarak terdekat diantara setiap lokasi bencana. Sehingga dengan *minimum spanning tree* ini jalur penanganan akan terbentuk. Penggunaan *minimum spanning tree* ini dapat

meminimalkan biaya yang dikeluarkan, karena jalur yang terbentuk merupakan jalur dengan jarak terpendek sehingga biaya yang dikeluarkan dapat difokuskan ke lamanya penanganan. Meski hal ini menguntungkan namun karena hakikat dari pada *minimum spanning tree* ini adalah *network* yang terbentuk tidak dapat membentuk suatu *looping*, oleh karena itu ketika alat berat yang diterjunkan untuk menangani lokasi bencana yang berada pada ujung dari *tree* yang terbentuk, maka ketika akan kembali menuju depot, alat berat ini akan melalui jalur yang sama ketika alat berat ini menuju lokasi bencana tersebut.

Kedua algoritma ini sama-sama tidak mendukung proses penanganan bersama atau satu lokasi bencana dilakukan penanganan oleh lebih dari satu alat berat. Meski hal ini nampak kurang menguntungkan, namun hal ini digunakan agar jangkauan dari penerjunan dapat lebih jauh, sehingga penanganan tidak terfokus hanya pada satu lokasi tertentu. Adanya kelebihan maupun kekurangan dari kedua algoritma ini sebenarnya menjadi *challenge* untuk pengembangan algoritma selanjutnya. Sehingga dapat membantu dinas-dinas terkait untuk dapat lebih meningkatkan cara penanganan dari bencana-bencana yang nantinya dihadapi.

Kembali lagi jika membandingkan antara algoritma 1 maupun algoritma 2 dalam mengatasi permasalahan pada studi kasus maupun skenario yang telah dibuat, maka dari beberapa sisi seperti biaya, total hari kerja, dan lama waktu penerjunan maka algoritma 1 yang telah dilakukan iterasi lanjutan dapat lebih unggul dari algoritma 2. Meski demikian hal ini dapat lebih ditingkatkan, karena pada beberapa hal, baik algoritma 1 maupun algoritma 2 juga memiliki kelemahan seperti yang telah dijelaskan di atas. Jika kembali melihat bagaimana rekap biaya yang muncul untuk melakukan penanganan pada studi kasus, maupun ke tiga skenario yang dibuat, terdapat satu hal yang cukup menarik, yakni pada algoritma 2, dimana alat berat yang memiliki kapasitas besar ternyata memiliki biaya yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan alat berat yang kapasitasnya lebih kecil, meski tidak selalu terjadi hal seperti demikian. Hal ini menjadi menarik karena, mengingat alat berat dengan kapasitas besar dapat digunakan lebih banyak untuk menangani lokasi-lokasi bencana, sehingga waktu penanganan dapat dipersingkat dan nantinya dapat lebih menghemat biaya. Namun kembali lagi, bahwa algoritma yang disusun ini tidak semata-mata hanya untuk menekan biaya yang dikeluarkan. Sebagai gambaran terkait penjelasan tersebut adalah sebagai berikut ini. Terdapat empat lokasi bencana dan dua alat berat, setiap lokasi bencana tersebut membutuhkan waktu penanganan selama dua hari jika ditangani oleh alat berat A, sedangkan jika ditangani oleh alat berat B setiap lokasi bencana tersebut membutuhkan waktu penanganan selama tiga hari dan setiap harinya

kedua alat berat tersebut dikenakan biaya Rp. 100.000,00. Pilihan yang muncul adalah, menggunakan hanya alat berat A saja untuk melakukan penanganan di empat lokasi tersebut, sehingga penanganan akan selesai di hari ke delapan dengan biaya Rp. 800.000.000,00 atau menggunakan alat berat A untuk melakukan penanganan pada ke tiga lokasi bencana sedangkan satu lokasi lainnya diserahkan untuk dilakukan penanganan oleh alat berat B, sehingga penanganan akan selesai pada hari ke enam dengan biaya Rp. 900.000,00. Berdasarkan gambaran sederhana ini menunjukkan beberapa hal yang dihadapi pada studi kasus maupun skenario yang dibuat. Jika tujuannya adalah pengeluaran biaya yang seminimal mungkin maka jawabannya adalah dengan menggunakan alat berat dengan kapasitas besar saja. Namun jika tujuannya adalah waktu penerjunan yang lebih singkat maka jawabannya adalah dengan menggunakan kombinasi dari alat berat yang ada. Algoritma yang dibuat ini adalah untuk menjawab kedua pilihan tersebut, dalam artian lebih rendah dari sisi biaya namun juga lebih singkat dari sisi waktu penerjunan.

Berdasarkan pada penggunaan algoritma untuk menangani studi kasus yang ada ataupun ketika dilakukan pengujian algoritma pada ke tiga skenario yang dibuat, maka algoritma 1 mampu menjawab tujuan diatas. Ketika digunakan untuk menangani studi kasus, algoritma 1 mampu memberikan biaya yang lebih rendah dari pada kondisi *existing* dan waktu penerjunannyapun lebih singkat. Meski demikian, algoritma 2 juga tidak dapat dianggap lebih buruk dari algoritma 1, karena algoritma 2 dapat memberikan hasil yang mendekati optimal meski tidak memiliki tahapan iterasi seperti algoritma 1. Bahkan hasil yang diberikan oleh algoritma 2 bisa jadi lebih baik jika dibandingkan algoritma 1, ketika algoritma 1 tidak melakukan iterasi. Namun, baik algoritma 1 maupun 2 sebenarnya dapat memberikan suatu tahapan-tahapan yang dapat diambil oleh Dinas PUPR Kabupaten Pacitan dalam melakukan perencanaan penerjunan alat berat, karena tahapannya yang runtut dan mampu memberikan hasil optimal, baik dari segi waktu penerjunan maupun biaya yang nantinya dikeluarkan. Sehingga keadaan mengembalikan alat berat menuju depot karena belum menentukan lokasi mana yang selanjutnya ditangani dapat dikurangi bahkan dihilangkan, yang nantinya dapat berdampak pada peningkatan efektivitas alat berat serta efisiensi dari biaya yang dikeluarkan. Seperti kata Khisty dan Lall (2003) bahwa manajemen transportasi adalah sebuah proses perencanaan, sehingga algoritma yang disusun ini juga menjadi tahapan perencanaan agar mampu meningkatkan akses dan mobilitas setelah terjadinya bencana.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V PENUTUP

Berdasarkan pada rumusan masalah dan juga tujuan dari penelitian ini, selanjutnya akan dibahas terkait kesimpulan yang telah diperoleh dari pembahasan pada bab sebelumnya. Pada bagian ini akan diterangkan terkait kesimpulan yang didapatkan selama melakukan penelitian ini. Selain itu, juga akan diberikan saran-saran yang nantinya dapat dijadikan sebagai bahan masukan untuk melakukan penelitian maupun pengaplikasian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Seperti yang telah diterangkan sebelumnya, bahwa akan diterangkan terkait kesimpulan yang didapatkan selama melakukan penelitian. Kesimpulan ini berdasarkan pada rumusan masalah yang telah disusun sebelumnya. Berikut ini merupakan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini.

1. Penerjunan alat berat pada kondisi *existing* masih terdapat beberapa hal yang masih dapat dioptimalkan. Hal-hal tersebut terkait dengan rute penanganan, lamanya waktu penerjunan, serta biaya yang harus dikeluarkan. Selain itu penanganan pada lokasi vital juga sebaiknya dijadikan sebagai prioritas dalam melakukan penanganan. Berdasarkan hal tersebut, maka disusunlah algoritma yang mampu membantu dalam mengatasi masalah tersebut. Peneliti memberikan dua algoritma yang digunakan untuk menangani permasalahan pada penerjunan alat berat untuk mengatasi bencana tersebut. Algoritma pertama merupakan *modified christofides et al.algorithm* yang telah dilakukan penyesuaian terhadap studi kasus yang diangkat, dan algoritma yang ke dua merupakan algoritma yang telah disusun oleh peneliti sendiri dengan melihat studi kasus yang ada. Kedua algoritma tersebut sama-sama menggunakan *minimum spanning tree* sebagai langkah awal untuk dapat mengetahui bagaimana jalur ataupun rute penanganan lokasi bencana. Dalam penerjunan alat beratnyapun, kedua algoritma tersebut sama-sama mengutamakan penanganan terhadap lokasi bencana vital untuk segera dilakukan penanganan oleh alat berat yang *available* dengan kapasitas terbesar dan tidak akan kembali menuju *depot* sebelum lokasi bencana dilakukan penanganan seluruhnya. Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan, kedua algoritma tersebut memberikan hasil yang lebih baik dari yang telah dilakukan dinas PUPR Kabupaten

Pacitan. Jika melihat perbedaannya, algoritma pertama menyusun MST terlebih dahulu kemudian melakukan pembobotan terhadap wilayah yang terdampak bencana, dan memiliki tahap iterasi untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Sedangkan pada algoritma ke dua, penerjunan dilakukan berdasarkan skema yang dibuat, dengan langkah mendahulukan penanganan pada lokasi yang vital dan selanjutnya melakukan penanganan berdasarkan lokasi terdekat.

2. Pada kondisi *existing* memiliki total waktu tempuh selama 1.883,605 menit, algoritma 1 memiliki waktu tempuh selama 1.333,142 menit, sedangkan algoritma 2 memiliki waktu tempuh selama 1.268,105 menit. Berdasarkan waktu tempuhnya, algoritma 1 dan 2 lebih unggul dari kondisi *existing*, karena penggunaan MST sebagai model jalur penanganan yang memberikan total jarak terpendek untuk menghubungkan setiap titik lokasi bencana. Khusus untuk algoritma 2 yang memiliki waktu tempuh lebih singkat dari yang lain, hal ini dikarenakan tahapan yang dilakukan berdasarkan jarak terdekat dari lokasi terakhir. Hal ini membuktikan jika dengan menggunakan algoritma 1 maupun algoritma 2 memberikan hasil yang lebih baik dari kondisi *existing*. Pada algoritma 1 hasil yang optimal terjadi pada iterasi ke dua, dimana *wheel loader* Komatsu WA 200-5 memiliki rute $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 22 \rightarrow 23 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 1$, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 memiliki rute $1 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 1$, *motor grader* Mitsubishi MG 3H memiliki rute $1 \rightarrow 18 \rightarrow 1$, *excavator* Komatsu PC 200-6 memiliki rute $1 \rightarrow 26 \rightarrow 32 \rightarrow 30 \rightarrow 1$, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) memiliki rute $1 \rightarrow 28 \rightarrow 25 \rightarrow 29 \rightarrow 33 \rightarrow 27 \rightarrow 31 \rightarrow 1$, sedangkan *backhoe loader* Holland B 90B memiliki rute $1 \rightarrow 5 \rightarrow 19 \rightarrow 6 \rightarrow 17 \rightarrow 34 \rightarrow 15 \rightarrow 21 \rightarrow 20 \rightarrow 7 \rightarrow 16 \rightarrow 24 \rightarrow 1$. Pada algoritma 2, *wheel loader* Komatsu WA 200-5 memiliki rute $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 34 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 1$, *wheel loader* Komatsu WA 180-1 memiliki rute $1 \rightarrow 5 \rightarrow 19 \rightarrow 6 \rightarrow 17 \rightarrow 22 \rightarrow 23 \rightarrow 35 \rightarrow 8 \rightarrow 21 \rightarrow 20 \rightarrow 24 \rightarrow 7 \rightarrow 16 \rightarrow 1$, *motor grader* Mitsubishi MG 3H memiliki rute $1 \rightarrow 18 \rightarrow 1$, *excavator* Komatsu PC 200-6 memiliki rute $1 \rightarrow 26 \rightarrow 32 \rightarrow 30 \rightarrow 1$, *excavator* Komatsu PC 200-6 (*long arm*) memiliki rute $1 \rightarrow 28 \rightarrow 25 \rightarrow 29 \rightarrow 33 \rightarrow 27 \rightarrow 31 \rightarrow 1$, sedangkan *backhoe loader* Holland B 90B memiliki rute $1 \rightarrow 3 \rightarrow 15 \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 1$. Berdasarkan rute yang terbentuk tersebut,
3. Berdasarkan rute yang telah diperoleh, pada kondisi *existing* memerlukan total waktu penanganan selama 29.895,52 menit. Pada algoritma 1 total waktu penanganan selama 29.297 menit. Pada algoritma 2 total waktu penanganan selama 29.843 menit. Berdasarkan hal tersebut, algoritma 1 memberikan total waktu penanganan yang lebih singkat dari yang lain. Hal tersebut karena penentuan alat berat yang diterjunkan untuk

melakukan penanganan berdasarkan bobot terkait besarnya kerusakan yang terjadi pada lokasi bencana dibandingkan dengan kapasitas yang dimiliki oleh setiap alat berat. Selain itu adanya tahap iterasi juga akan mendukung hasil tersebut. Berdasarkan hal tersebut, maka algoritma 1 dapat menekan total waktu penanganan, sehingga dapat menekan biaya yang nantinya akan dikeluarkan juga. Dimana pada kondisi *existing* total biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 123.094.000,00, pada algoritma 2, yang mampu menekan total waktu tempuhnya mengeluarkan biaya sebesar Rp. 113.946.000,00 sedangkan pada algoritma 1, yang dapat menekan total waktu penanganannya, membutuhkan total biaya sebesar Rp. 113.946.000,00.

4. Kedua algoritma yang telah disusun selanjutnya dilakukan pengujian terhadap permasalahan yang berbeda. Pada pengujiannya, ke dua algoritma tersebut dihadapkan pada tiga skenario yang berbeda-beda. Berdasarkan skenario tersebut, algoritma 1 lebih mendominasi dari pada algoritma 2. Pada skenario 1, algoritma 1 membutuhkan total waktu penerjunan selama 25.438,061 menit dengan total biaya sebesar Rp. 98.130.000,00, sedangkan algoritma 2 membutuhkan total waktu penerjunan selama 26.186,488 menit dengan total biaya sebesar Rp. 100.046.000,00. Pada skenario 2, algoritma 1 membutuhkan total waktu penerjunan selama 4.427,498 menit dengan total biaya sebesar Rp. 23.920.000,00, sedangkan pada algoritma 2 membutuhkan total waktu penerjunan selama 5.052,498 menit dengan total biaya sebesar Rp. 28.644.000,00. Kemudian pada skenario terakhir algoritma 1 membutuhkan total waktu penerjunan selama 24.040,658 menit dengan total biaya sebesar Rp. 94.448.000,00, sedangkan algoritma 2 membutuhkan total waktu penerjunan selama 30.404,585 menit dengan total biaya sebesar Rp. 111.646.000,00. Meski demikian, algoritma 2 tidak sepenuhnya lebih buruk dari algoritma 1. Pada algoritma 2, hasil yang diperoleh sebenarnya dapat lebih mendekati kondisi optimal jika dibandingkan pada algoritma 1 ketika belum dilakukan iterasi. Sehingga, meski tidak memiliki tahapan iterasi seperti algoritma 1, algoritma 2 dengan tahapan-tahapannya dapat mendekati kondisi yang optimal. Selain itu adaptasi algoritma 2 terhadap permasalahan (bencana) yang tidak dapat terprediksi juga menjadi keuntungan atau kelebihan dari algoritma 2 jika dibandingkan dengan algoritma 1.

5.2 Saran

Selain kesimpulan yang didapatkan tersebut, terdapat pula saran-saran yang diperuntukkan baik untuk peneliti sendiri, dinas terkait, maupun peneliti lain yang hendak

menggunakan hasil dari penelitian ini untuk dilakukan penelitian lanjutan maupun pengaplikasian dari hasil yang diperoleh dari penelitian ini. Berikut merupakan saran-saran bagi pihak-pihak tersebut.

1. Dinas PUPR Kabupaten Pacitan dapat melakukan penerjunan alat berat ketika terjadi bencana selanjutnya menggunakan ke dua algoritma yang disusun. Sehingga dapat diperoleh penerjunan yang lebih efektif dan efisien. Selain itu, algoritma-algoritma tersebut dapat dijadikan sebagai prosedur ketika akan melakukan penerjunan alat berat.
2. Guna mempercepat perencanaan penerjunan menggunakan algoritma yang telah disusun, dapat dilakukan penelitian untuk menyusun sebuah sistem informasi berbasis komputer sebagai *decision support system*.
3. Pada penelitian selanjutnya, dapat digunakan pendekatan lain untuk melakukan penerjunan alat berat. Karena permasalahan yang dihadapi adalah bencana alam yang memiliki sifat ketidak pastian. Dengan pendekatan stokastik diharapkan dapat lebih memetakan bagaimana alat berat untuk diterjunkan.
4. Pendekatan ilmu lain yang dapat digunakan adalah penggunaan manajemen risiko yang dapat diterapkan untuk memetakan lokasi-lokasi vital. Hal tersebut dikarenakan pada penelitian ini, lokasi vital hanya berdasarkan data historis. Sehingga dengan adanya pendekatan tersebut dapat lebih memetakan bagaimana nantinya alat berat akan diterjunkan untuk menangani bencana, terlebih dengan memetakan terlebih dahulu lokasi-lokasi vital yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, V., & Salman, F. S. 2016. Multi-vehicle Synchronized Arc Routing Problem to Restore Post-disaster Network Connectivity. *European Journal of Operational Research*. 257 (2017) : 625-640.
- Andriansyah, M. 2017. *Akses Jalan Terputus 13 Desa Di Pacitan Terisolir Akibat Banjir dan Longsor*. <https://www.merdeka.com/peristiwa/akses-jalan-terputus-13-des-di-pacitan-terisolir-akibat-banjir-dan-longsor.html>. (diakses 29 November 2017).
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2018. *Trend Bencana 2017*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana: <https://www.bnpb.go.id/infografis/detail/trend-bencana-2017>. (diakses 18 April 2018).
- Carter, W. N. 2008. *Disaster Management - A Disaster Manager's Handbook*. Mandaluyong City: Asian Development Bank.
- Christofides, N., Campos, V., Corberan, A., & Mota, E. 1981. An Algorithm For The Rural Postman Problem. *Imperial Collage Report IC-OR*. 81 (1981) : 6-11.
- Dinas PUPR Kabupaten Pacitan. 2017. *Penilaian Kerusakan dan Kerugian Pasca Bencana Banjir dan Tanah Longsor Kabupaten Pacitan Provinsi Jawa Timur Tahun 2017*. Pacitan : Dinas PUPR Kabupaten Pacitan.
- Heragu, S. S. 2016. *Facilities Design Fourth Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Holmberg, K. 2009. Heuristic for The Rural Postman Problem. *Computers & Operations Research*. 37 (2010) : 981-990.
- Kelly, C. 1995. A Framework For Improving Operational Effectiveness and Cost Efficiency in Emergency Planning and Response. *Disaster Prevention and Management*. 4 (3) : 25-33.
- Khisty, C. J., & Lall, B. K. 2003. *Transportation Engineering : An Introduction*. U.S.A.: Prentice Hall.
- Kholil, A. 2012. *Alat Berat*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Kurniawati, E. 2017. *Banjir Pacitan Sudah Surut Tujuh Kecamatan Terdampak Belum Pulih*. <https://nasional.tempo.co/read/1038622/banjir-pacitan-sudah-surut-tujuh-kecamatan-terdampak-belum-pulih>. (diakses 29 Desember 2017).
- Kusumasari, Bevaola. 2014. *Manajemen Bencana dan Kapabilitas Pemerintah Lokal*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media.
- Luu, C., Meding, J. V., & Kanjanabootra, S. 2018. Flood Risk Management Activities in Vietnam: A Study of Local Practice in Quang Nam Province. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 255 (2018) : 4.
- Nazir, M. 2014. *Metode Penelitian*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Pearn, W. L., & Wu, T. C. 1995. Algorithms for The Rural Postman Problem. *Computer Operational Research*. 22 (8) : 822.

- Pemerintah Indonesia. 2004. *Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2004 tentang Jalan*. Lembaran RI Tahun 2004 No. 34. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Pemerintah Indonesia. 2007. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana*. Lembaran RI Tahun 2007 No. 24. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Pujawan, I. N., & Er, M. 2017. *Supply Chain Management*. Surabaya: Andi Publisher.
- Purnomo, H., & Sugiantoro, R. 2010. *Manajemen Bencana*. Yogyakarta: Media Pressindo.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. 2014. *Peta ZKGT Kabupaten Pacitan*. Galeri Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi: <http://vsi.esdm.go.id/gallery/picture.php?/190/category/17>. (diakses 18 April 2018).
- Rostiyanti, S. F. 2008. *Alat Berat Untuk Konstruksi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sarwono, J. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Shaluf, I. M. 2008. Technological Disaster Stages and Management. *Disaster Prevention and Management*. 17 (1): 114-126.
- Sorge, M., Van Bevern, R., Niedermeier, R., & Weller, M. 2012. A New View on Rural Postman Problem Based on Eulerian Extension and Matching. *Journal of Discrete Algorithms*. 16(2012) : 12-33.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surachman, & Astuti, M. 2015. *Operations Research (Edisi Kedua)*. Malang: Media Nusa Creative.
- Susanto, A. B. 2006. *Disaster Management Di Negeri Rawan Bencana*. Jakarta: The Group & Eka Tjipta Foundation.
- Taha, H. A. 2008. *Operation Research : An Introduction*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Toth, P., & Vigo, D. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Wang, C. C., Hsieh, M. C., & Huang, C. H. 2018. Applying Prim's Algorithm to Identify Isolates Areas for Natural Disaster Prevention and Protection. *Scientific Research Publishing*. 10(2018) : 417-431.